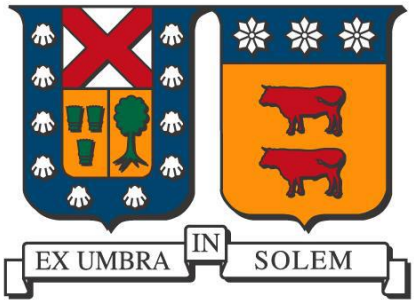
UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL

VALPARAÍSO – CHILE



“Aplicación de Tecnologías de la Información para optimizar la gestión de sustancias químicas y control de residuos en la Gran Industria del Petróleo”

SEBASTIAN ALEJANDRO VILLEGAS OBREGON

Memoria de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil Químico

Profesor Guía

DANIEL RAMIREZ LIVINGSTON

Profesor Co-Referente

PATRICIO CONTRERAS LEDEZMA

OCTUBRE, 2026

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Aplicación de Tecnologías de la Información para optimizar la gestión de sustancias químicas y control de residuos en la Gran Industria del Petróleo

Nombre del candidato(a): Sebastián Alejnado Villegas Obregon

Carrera / Grado: Ingeniería Civil Química

Campus: Casa Central **Departamento:** Ingeniería química y ambiental (IQA)

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Daniel Ramirez en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por **(marcar una opción)**:

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

_____

_____

_____

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 30/10/2026 **Firma:** _____



Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 30/10/2026 **Firma:** _____



Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

RESUMEN

La gestión de sustancias químicas y residuos en la industria del petróleo requiere información confiable para identificar peligros y establecer controles. Esta memoria analizó la gestión de información de una organización industrial, identificada como Caso 1, para proponer mejoras apoyadas en tecnologías de información que fortalezcan el control documental, la calidad de los registros, la trazabilidad y la gestión del riesgo químico.

Se aplicó un enfoque descriptivo y propositivo mediante el levantamiento, revisión, homologación y sistematización de antecedentes de sustancias, hojas de datos de seguridad (HDS), residuos, instalaciones y puntos operativos. Se caracterizó el flujo de información, se identificaron brechas y se formularon requerimientos y prioridades utilizando principios ágiles. Asimismo, se realizó una comparación funcional exploratoria con herramientas de referencia.

Los registros de septiembre de 2026 comprendían 1.041 HDS del Caso 1: 729 en estado "Cumple" (70,0 %) y 312 en "No cumple" (30,0 %). Entre estas últimas, 193 presentaban deficiencias de clasificación (61,9 %) y 74 carecían de antecedentes del proveedor en Chile (23,7 %).

Se propusieron una matriz de revisión de HDS, estados documentales, reglas de calidad de datos, asociaciones entre materiales y ubicaciones, seguimiento de observaciones e indicadores de control documental. También se propuso medir la regularización del conjunto inicial observado.

Se concluye que disponer de información validada y vinculada con el contexto operacional puede contribuir a minimizar el riesgo químico al respaldar decisiones sobre compatibilidad de almacenamiento, prevención de exposiciones, selección de controles y respuesta ante emergencias. La reducción efectiva del riesgo depende de la aplicación y verificación de estas medidas en terreno. Sus efectos sobre seguridad, tiempos, costos y reprocesos requieren evaluación posterior.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento y un cariño inmenso a mi familia, especialmente a mis padres. Soy consciente de todo el esfuerzo, los sacrificios y el apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de mi vida. Gracias por cada puerta que me abrieron, por las oportunidades que me entregaron y por permitirme crecer sin límites, siempre con la tranquilidad de saber que cuento con ustedes.

En primer lugar, quiero agradecer a mi papá, mi *Baba*, de quien desde pequeño he sido testigo de su entrega, perseverancia y lucha constante por sacar adelante a nuestra familia. He visto cómo ha dado todo de sí para que cada uno de nosotros tenga la oportunidad de crecer y ser mejor. Es mi referente como hombre y uno de los mayores ejemplos de la persona en la que aspiro a convertirme: como hombre, padre, hermano e hijo. Gracias por enseñarme, a través de tus acciones, el verdadero significado del esfuerzo, la responsabilidad y el amor por la familia.

También a mi mamita, quiero agradecerle por su ternura, su fortaleza y ese cariño inmenso que siempre ha sabido entregarme. Con su paciencia, dedicación y amor, me ha formado con carácter, valores y sensibilidad. Gracias por cada preocupación, cada palabra de aliento y por demostrarme que la fortaleza y la gentileza pueden ir de la mano. Gran parte de la persona que soy hoy se la debo a ese amor que, muchas veces, ha sido más grande de lo que las palabras pueden expresar.

A mis hermanos, Felipe, Daniza y Darlen, gracias por ser parte de mi vida. Aunque entre nosotros exista una diferencia considerable de edad, jamás los cambiaría por nada. Amo y adoro a nuestra familia, nuestras risas y esos momentos en los que mis tonterías terminan sacándoles una sonrisa. Son recuerdos y experiencias que tengo el privilegio de llevar conmigo. Cada uno, a su manera, ha sido parte de este recorrido y de la persona en la que me he convertido. Hoy no considero que este camino termine, sino que comienza una nueva etapa, en la que llevaré conmigo las herramientas, enseñanzas y el cariño que me han entregado para enfrentar los desafíos que la vida tenga preparados.

También quiero agradecer a todas aquellas personas que, en algún momento de mi vida, compartieron parte de su tiempo conmigo. A mis amigos, conocidos y a quienes estuvieron presentes para escucharme, conversar, acompañarme o simplemente compartir una experiencia. Cada encuentro, cada conversación y cada gesto de apoyo ha dejado una huella que guardaré con mucho cariño. Independientemente de los caminos que hoy siga cada uno, agradezco sinceramente haber coincidido con ustedes y que, de alguna manera, hayan formado parte de mi historia.

De igual manera, quiero expresar mi sincero agradecimiento a todo el equipo de Zarey Consultores, por brindarme la oportunidad de crecer profesionalmente, adquirir nuevos conocimientos y enfrentar desafíos que contribuyeron significativamente a mi formación. Gracias por entregarme las herramientas, el apoyo y, sobre todo, la confianza para asumir responsabilidades y desarrollar este trabajo. Valoro profundamente la disposición y el compañerismo de quienes me acompañaron durante esta etapa, haciendo de esta experiencia una oportunidad de aprendizaje tanto profesional como personal. En especial, quiero agradecer a mi

tutor, Patricio Contreras, por su constante disposición, paciencia y confianza a lo largo de este proceso. Gracias por estar siempre disponible para resolver mis dudas, orientarme cuando lo necesité y compartir sus conocimientos y experiencia. Su apoyo me permitió comprender no solo qué debía hacer, sino también cómo abordar cada desafío con criterio, responsabilidad y profesionalismo. Agradezco sinceramente el tiempo dedicado, las enseñanzas entregadas y la confianza depositada en mis capacidades, aspectos que llevaré conmigo en esta nueva etapa de mi vida profesional.

Finalmente, quiero dedicarme unas palabras a mí mismo. Hace algunos años, llegar hasta este momento parecía algo muy lejano. Hubo etapas difíciles, momentos de incertidumbre y días en los que incluso me costaba reconocerme o encontrar las fuerzas para continuar. Sin embargo, agradezco no haberme rendido, haberme levantado cuando menos ganas tenía y haber enfrentado mis propios problemas, incluso cuando parecía que no encontraba una respuesta.

Hoy comprendo que la vida cambia constantemente, que las oportunidades llegan y se van, y que, aunque no siempre puedo controlar lo que sucede a mi alrededor, sí puedo decidir qué hacer con aquello que está en mis manos y con el camino que deseo construir. Agradezco cada aprendizaje, cada error y cada experiencia que me ha permitido crecer.

Por sobre todo, me agradezco haber llegado hasta aquí sin perder las ganas de seguir descubriendo lo que la vida tiene para ofrecerme. Porque, a pesar de los días difíciles, todavía tengo muchos motivos para sonreír, muchas experiencias por vivir y muchos sueños por cumplir. Este logro no representa el final de mi camino, sino el comienzo de una nueva etapa. Y espero recibirla con la misma energía, cariño y sonrisa con la que deseo seguir enfrentando la vida.

GLOSARIO

Sigla	Definición
D.S.	Decreto Supremo. Instrumento normativo que establece disposiciones reglamentarias aplicables a diferentes actividades.
EPP	Elementos de Protección Personal. Equipos destinados a proteger a los trabajadores frente a riesgos específicos.
GHS	Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals. Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos.
HDS	Hoja de Datos de Seguridad. Documento técnico que proporciona información sobre los peligros, medidas preventivas y procedimientos de respuesta ante emergencias asociados a sustancias químicas o mezclas.
IT / TI	Tecnologías de la Información. Herramientas y sistemas utilizados para almacenar, procesar, administrar y consultar información.
RETC	Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes.
RESPEL	Residuo peligroso. Residuo que presenta una o más características de peligrosidad establecidas en el D.S. N.º 148/2003.
RESNOPEL	Residuo no peligroso. Residuo que no presenta las características de peligrosidad establecidas por la normativa aplicable.
SDS	Safety Data Sheet. Denominación en inglés de la Hoja de Datos de Seguridad.
SIDREP	Sistema de Declaración y Seguimiento de Residuos Peligrosos.
SINADER	Sistema Nacional de Declaración de Residuos.

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción 9
1.1 Contextualización del tema 9
1.2 Planteamiento del problema 9
1.3 Razón de tema 13
1.4 Objetivos 15
1.4.1 Objetivo general 15
1.4.2 Objetivos específicos 15
1.5 Alcance y limitaciones 15
1.6 Metodología general 16
1.7 Herramientas empleadas 17
2. Marco teórico y normativo 18
2.1 Gestión de sustancias químicas en contextos industriales 18
2.2 Ciclo de vida documental de una sustancia química 20
2.3 Hojas de Datos de Seguridad como instrumento de gestión 20
2.3.1 Conformidad documental, aplicabilidad y vigencia de las HDS 23
2.4 Gestión de residuos industriales y peligrosos 25
2.4.1 Diferencia entre información de producto y clasificación de residuo 25
2.5 Homologación documental 26
2.6 Tecnologías de información aplicadas a la gestión químico-logística 26
2.7 Marco normativo aplicable 28
2.7.1 Lectura integrada del marco regulatorio 30
2.8 Relación entre normativa, información y tecnología 30
3.1 Contexto operacional del caso de estudio 31
3.1.1 Frontera operacional del proceso 31

3.2 Alcance de la información levantada 31
3.3 Actores y roles del proceso 32
3.4 Flujo actual del proceso de gestión 33
3.4.1 Descripción de las etapas y sus salidas 34
3.5 Gestión de sustancias químicas en el proceso actual 34
3.6 Gestión de Hojas de Datos de Seguridad en el proceso actual 35
3.7 Gestión de residuos en el proceso actual 35
3.8 Relación con instalaciones, puntos de almacenamiento y puntos de generación 35
3.9 Uso actual del sistema informático químico-logístico 36
4. Diagnóstico de brechas documentales y operativas 37
4.1 Introducción del capítulo 37
4.2 Criterios utilizados para el diagnóstico 37
4.2.1 Observación como brecha 37
4.3 Brechas documentales asociadas a HDS y registros técnicos 38
4.3.1. Motivos de rechazo identificados durante la revisión de HDS 40
4.4 Brechas operativas asociadas a sustancias, residuos e instalaciones 42
4.5 Brechas de trazabilidad y control de información 43
4.6 Análisis causal integrado 44
5. Aplicación de tecnologías de información y metodologías ágiles al proceso de gestión 45
5.1 Rol del sistema informático químico-logístico dentro del proceso 45
5.1.1 Modelo conceptual de información 45
5.2 Requerimientos funcionales 46
5.3 Aplicación del enfoque Agile 46
5.3.1 Procedimiento de aplicación 47
5.3.2 Historias de usuario y criterios de aceptación 48

5.3.3 Lista priorizada de trabajo 50
5.4 Priorización de mejoras funcionales 51
5.4.1 Secuencia de implementación 52
5.5 Reglas de calidad de datos 53
5.6 Flujo propuesto de control interno 54
5.6.1 Puntos de control y evidencia 56
6. Análisis comparativo funcional de herramientas y servicios relacionados 57
6.1 Criterios de comparación funcional 57
6.2 Selección de soluciones y jerarquía de evidencia 57
6.3 Herramientas y servicios considerados 58
6.4 Matriz comparativa funcional 60
6.5 Análisis comparativo por solución 60
6.6 Oportunidades de mejora identificadas a partir del análisis comparativo 61
6.7 Limitaciones del análisis comparativo 62
7.1 Objetivo de la propuesta de mejora 63
7.2 Mejora del control documental de HDS 63
7.2.1 Procedimiento propuesto para revisar una HDS 64
7.3 Fortalecimiento de la trazabilidad operacional 65
7.4 Indicadores de gestión y seguimiento documental 66
7.5 Limitaciones de la propuesta 67
7.5.1 Riesgos de implementación y medidas de control 68
7.5.2 Factibilidad preliminar 68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 69
Referencias 71
Anexo 1 74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Datasheet únicamente de las sustancias en calidad de aprobado y rechazado total de la plataforma. 32
Figura 2. Flujo de gestión. 33
Figura 3. Estado de cumplimento Caso 1. 38
Figura 4. Portal de entrada a la plataforma. 50
Figura 5. Formulario para añadir una sustancia en la plataforma 54
Figura 6. Flujo interno de revisión documentaria. 55
Figura 7. Design Thinking de la plataforma digital. 74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Secciones y contenidos de una HDS (Ministerio de Salud, 2021). 22
Tabla 2. Marco normativo y aplicación documentación. 28
Tabla 3. Actores y responsabilidad del proceso. 33
Tabla 4. Tipos de brechas encontradas. 39
Tabla 5. Motivos de rechazo y observaciones registradas para las HDS del Caso 1 40
Tabla 6. Brechas operativas. 42
Tabla 7. Requerimientos en la plataforma en diversas áreas. 46
Tabla 8. Etapas de aplicación del enfoque Agile. 47
Tabla 9. Historias de usuario y criterios de aceptación. 49
Tabla 10. Priorizaciones de mejoras funcionales. 51
Tabla 11. Matriz comparativa entre plataformas similares. 60
Tabla 12. Matriz de validación en HDS. 63
Tabla 13. Indicadores de control y seguimiento documental de HDS del Caso 1 66

1. Introducción

1.1 Contextualización del tema

La gestión de sustancias químicas y residuos es una actividad crítica en procesos industriales complejos, especialmente cuando convergen almacenamiento, transporte, uso y generación de materiales sujetos a controles de seguridad y trazabilidad. En la industria del petróleo, esta exigencia aumenta por la diversidad de productos utilizados, fabricados, los residuos generados y el volumen de antecedentes técnicos que deben mantenerse actualizados (United Nations Environment Programme, 2023).

La información asociada a estos materiales no cumple solo una función administrativa. Las HDS, los inventarios, los registros de residuos, las instalaciones, los puntos de almacenamiento y generación, las autorizaciones y los antecedentes de disposición respaldan decisiones de seguridad, gestión ambiental y continuidad operacional (Ministerio de Salud, 2021).

Esta memoria se desarrolló a partir de actividades realizadas para Zarey Consultores, en el marco de la gestión químico-logística del Caso 1, utilizando como herramienta de apoyo la plataforma informática. La identificación de ambas entidades se incorpora conforme a la autorización comunicada por el profesor guía, manteniéndose la reserva de los antecedentes internos que no cuenten con autorización para su divulgación.

La plataforma administra un universo general de 2.028 hojas de datos de seguridad. En su registro global se describen, además, aproximadamente 113 instalaciones de almacenamiento de sustancias peligrosas, 37 puntos de generación de residuos y 2 instalaciones de almacenamiento temporal. Estas cifras contextualizan el alcance del sistema y deben distinguirse del análisis documental del Caso 1, que comprende 1.041 HDS y cuyos resultados se presentan en la sección 4.3. Los antecedentes de sustancias, residuos, instalaciones y transporte del caso se describen por separado en la sección 3.2. La distinción entre el contexto global y el conjunto revisado permite interpretar cada resultado según su ámbito de análisis.

1.2 Planteamiento del problema

En operaciones industriales de gran escala, la gestión de sustancias químicas y residuos requiere disponer de información técnica confiable, actualizada y accesible para las personas responsables de su manipulación, almacenamiento, transporte, control y respuesta ante

emergencias (Wang & Strong, 1996). Estos antecedentes suelen provenir de diversas fuentes, tales como planillas, bases históricas, hojas de datos de seguridad, resoluciones sanitarias, registros de instalaciones, puntos operativos y documentación interna. Cuando la información no se encuentra estandarizada, presenta inconsistencias o no mantiene relaciones claras entre sus distintos registros, disminuye su trazabilidad, aumenta el tiempo destinado a validar antecedentes y se dificulta su utilización como apoyo para la gestión operacional, el cumplimiento normativo y la prevención del riesgo químico.

En el caso estudiado, una de las principales brechas identificadas correspondió a la existencia de hojas de datos de seguridad (HDS) ilegibles, incompletas, desactualizadas o que no se encontraban adecuadamente alineadas con los requisitos aplicables del D.S. N.° 57/2019. Esta situación adquiere relevancia debido a que las HDS constituyen una fuente fundamental para la comunicación de peligros y proporcionan antecedentes relacionados con la identificación de las sustancias, sus propiedades, los riesgos asociados, las condiciones de almacenamiento, los controles de exposición, el transporte y las acciones necesarias frente a emergencias. Por consiguiente, las deficiencias en estos documentos pueden dificultar la correcta identificación de peligros y la adopción oportuna de medidas preventivas y de control (Ministerio de Salud, 2021).

A lo anterior se sumaron duplicidades, campos incompletos, diferencias de nomenclatura y dificultades para relacionar sustancias, residuos, instalaciones y documentos de respaldo. Estas condiciones generan reprocesos y reducen la confiabilidad de los registros disponibles, pero sus consecuencias pueden extenderse más allá de la gestión documental (Wang & Strong, 1996). La utilización de información incorrecta, insuficiente o de difícil acceso puede afectar la toma de decisiones respecto del almacenamiento, manipulación, compatibilidad química, retiro de residuos y respuesta frente a incidentes, con potenciales consecuencias para la seguridad de las personas trabajadoras, la integridad de las instalaciones y la protección del medio ambiente.

Como referencia de la magnitud de los accidentes laborales en Chile, durante 2024 se registraron **143.199 accidentes del trabajo en las mutualidades**, de los cuales **1.849 correspondieron a accidentes por contacto con condiciones o sustancias físicas, químicas o biológicas**, equivalentes aproximadamente al 1 % del total. Esta clasificación no corresponde exclusivamente a accidentes provocados por sustancias químicas, pero permite evidenciar que

este tipo de exposición se encuentra presente dentro de la accidentabilidad laboral nacional (Superintendencia de Seguridad Social, 2025).

La adecuada gestión de la información adquiere también importancia desde el punto de vista del cumplimiento normativo. En materia de residuos, el D.S. N.° 148/2003 establece requerimientos asociados al manejo de residuos peligrosos desde su generación hasta su tratamiento o disposición final, por lo que su correcta identificación y vinculación con los puntos de generación y almacenamiento resulta fundamental para mantener la trazabilidad del proceso (Ministerio de Salud, 2004). Asimismo, el D.S. N.° 43/2015 y el D.S. N.° 594/1999 establecen exigencias relacionadas con el almacenamiento de sustancias peligrosas y las condiciones sanitarias y ambientales en los lugares de trabajo, respectivamente, vinculando la información técnica disponible con las condiciones reales de operación (Ministerio de Salud, 2016) (Ministerio de Salud, 2000).

Fiscalización, sumarios y consecuencias sancionatorias

La adecuada gestión de la información adquiere relevancia no solo para el control interno de la organización, sino también frente a eventuales procesos de fiscalización. En términos generales, una fiscalización corresponde a una instancia mediante la cual la autoridad competente verifica el cumplimiento de las exigencias normativas aplicables, ya sea a través de una inspección en terreno o mediante la revisión documental de antecedentes técnicos y administrativos.

En una primera etapa, la autoridad puede revisar las condiciones de almacenamiento, las HDS, las resoluciones sanitarias, los registros de residuos, las autorizaciones disponibles, los planes de manejo, los procedimientos internos y otros documentos que permitan comprobar si las actividades se desarrollan conforme a la normativa vigente. Como resultado de esta revisión, puede levantarse un acta o informe de fiscalización, en el cual se registran los hallazgos, observaciones o eventuales incumplimientos detectados.

Cuando las observaciones requieren aclaración o corrección, la autoridad puede solicitar antecedentes adicionales o establecer plazos para subsanar las brechas identificadas. Sin embargo, si los hechos observados revisten mayor gravedad o pueden constituir una infracción, se puede iniciar un procedimiento administrativo formal. En el ámbito sanitario, este procedimiento corresponde al sumario sanitario, mientras que, en materia ambiental, puede derivar en un procedimiento sancionatorio ante la Superintendencia del Medio Ambiente.

Durante estos procedimientos, la organización fiscalizada puede presentar descargos, antecedentes técnicos, documentos de respaldo y medios de prueba que permitan aclarar su situación o demostrar el cumplimiento de sus obligaciones. En esta etapa, contar con información ordenada, vigente, trazable y fácilmente accesible resulta fundamental para responder adecuadamente a los requerimientos de la autoridad. Por el contrario, la ausencia de HDS actualizadas, resoluciones disponibles, registros completos o asociaciones claras entre sustancias, residuos, instalaciones y documentos puede dificultar la respuesta técnica de la organización.

Finalmente, la autoridad emite una resolución fundada, mediante la cual puede absolver a la organización, exigir medidas correctivas o aplicar sanciones, dependiendo de la gravedad del incumplimiento y del riesgo asociado. En materia sanitaria, el artículo 174 del Código Sanitario establece que las infracciones pueden ser sancionadas con multas de 0,1 a 1.000 UTM, además de medidas como clausura, paralización, cancelación de autorizaciones, decomiso, retiro o destrucción de productos cuando corresponda (DFL N. 725, 1967). En materia ambiental, las infracciones sometidas a la competencia de la Superintendencia del Medio Ambiente pueden ser sancionadas mediante amonestaciones, multas, clausura temporal o definitiva y revocación de la Resolución de Calificación Ambiental, contemplándose multas de hasta 10.000 UTA para infracciones gravísimas (Ley N. 20.417, 2010).

De esta manera, la calidad y trazabilidad de la información técnica no solo inciden en la gestión documental interna, sino que también influyen directamente en la capacidad de la organización para responder frente a fiscalizaciones, cerrar observaciones, respaldar el cumplimiento normativo y reducir la exposición a sumarios, sanciones o restricciones operacionales.

Por otra parte, disponer de información técnicamente correcta no resulta suficiente si esta no puede ser consultada de manera oportuna por quienes participan en las actividades asociadas a sustancias químicas y residuos. El acceso a información sobre peligros, elementos de protección personal, incompatibilidades, condiciones de manejo, almacenamiento y respuesta ante emergencias constituye un componente relevante para favorecer la comprensión de los riesgos presentes en las operaciones y fortalecer una cultura preventiva (Superintendencia de Seguridad Social, 2025). Durante 2024, los organismos administradores del Seguro de la Ley N.° 16.744 realizaron 122.503 actividades de asistencia técnica en 37.450 entidades empleadoras, incluyendo actividades destinadas a la identificación de peligros, evaluación de riesgos y gestión

de sustancias químicas peligrosas, lo que evidencia la relevancia de la prevención y la disponibilidad de información para la gestión de seguridad y salud en el trabajo (SUSESO, 2025).

En este contexto, una plataforma informática químico-logística puede actuar como herramienta de apoyo al centralizar, relacionar y facilitar la consulta de antecedentes previamente revisados y validados, sin reemplazar la responsabilidad técnica ni los controles requeridos en terreno. Su utilidad radica en permitir que la información asociada a sustancias químicas, residuos, instalaciones, documentos y observaciones se encuentre ordenada, trazable y disponible para quienes deben revisarla, utilizarla o responder ante requerimientos internos y externos (Wang & Strong, 1996) (Moreau & Missier, 2013).

En consecuencia, el problema abordado en esta memoria no se limita exclusivamente a la calidad y trazabilidad documental, sino que comprende la necesidad de fortalecer la calidad, estandarización, disponibilidad, accesibilidad y relación de la información técnica asociada a sustancias químicas y residuos. Lo anterior busca que dicha información pueda utilizarse como soporte efectivo para la gestión operacional, el cumplimiento normativo, la preparación frente a fiscalizaciones y la prevención del riesgo químico. Para ello, los antecedentes deben ser revisados, homologados y vinculados con su contexto operacional, pero también deben poder ser consultados oportunamente por las personas trabajadoras y responsables del proceso, favoreciendo la identificación de peligros, la concientización sobre los riesgos y la adopción de medidas preventivas y de control.

1.3 Razón de tema

La memoria se justifica, en primer lugar, por la necesidad técnica de disponer de información legible, completa y actualizada para evaluar riesgos, identificar peligros y definir medidas de control. En una operación con múltiples sustancias y residuos, una HDS deficiente o un registro incompleto puede afectar decisiones posteriores relevantes, tales como la selección de condiciones de almacenamiento, la definición de incompatibilidades, la elección de elementos de protección personal, la manipulación segura, el transporte, la respuesta ante emergencias y la gestión adecuada de los residuos generados (Ministerio de Salud, 2021) (Ministerio de Salud, 2016).

Desde el punto de vista normativo, el análisis relaciona el D.S. N.° 57/2019, el D.S. N.° 43/2015, el D.S. N.° 148/2003 y el D.S. N.° 594/1999 con los documentos y datos que deben administrarse. Esta relación se utiliza como criterio de revisión documental y no como una certificación de cumplimiento legal.

En el plano operativo, el volumen de registros analizados permite reconocer patrones de error, inconsistencias y necesidades de homologación asociadas a un proceso real que comprende distintas etapas del ciclo de vida de los productos y residuos (International Organization for Standardization, 2016). Este proceso puede abarcar desde la importación o ingreso de sustancias a la organización, su recepción y almacenamiento, su utilización durante la operación, hasta la generación de residuos y su posterior almacenamiento, transporte, tratamiento o disposición final. Por lo tanto, el interés del estudio no radica únicamente en describir una plataforma informática, sino en analizar cómo se administra la información a lo largo de este ciclo y proponer controles aplicables a su implementación. Desde la perspectiva tecnológica, la centralización de datos aporta valor cuando existen campos mínimos, catálogos controlados, estados documentales, responsables de actualización y mecanismos que permitan relacionar correctamente la información disponible. A ello se suma la necesidad de considerar la experiencia del usuario, mediante una interfaz intuitiva que facilite la búsqueda, visualización y comprensión de los antecedentes relevantes sin generar barreras innecesarias para su consulta. De esta manera, las tecnologías de información no solo deben facilitar el almacenamiento y la organización de antecedentes técnicos, sino también contribuir a una gestión integral del proceso químico-logístico en la industria del petróleo. Para ello, resulta fundamental que la información sea accesible, comprensible y esté debidamente vinculada con las actividades operacionales, permitiendo su consulta y utilización oportuna por parte de los distintos usuarios involucrados.

En el ámbito académico, el trabajo integra conocimientos de ingeniería, seguridad química, gestión ambiental y tecnologías de información para abordar una problemática aplicada, relacionando la gestión documental y operacional con la prevención del riesgo químico y el uso de herramientas digitales como soporte para la toma de decisiones.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Analizar el proceso de gestión de sustancias químicas y residuos para la gran industria del petróleo, con el propósito de proponer mejoras operativas apoyadas en tecnologías de información (TI) que permitan fortalecer la trazabilidad, el control documental, la calidad de los registros y la eficiencia del proceso.

1.4.2 Objetivos específicos

- Levantar y organizar la información técnica y documental asociada a sustancias químicas, hojas de datos de seguridad (HDS), residuos, instalaciones, puntos de almacenamiento y puntos de generación relevantes para su gestión en el sistema informático químico-logístico.
- Caracterizar los procesos críticos de registro, revisión, homologación, control y seguimiento de sustancias químicas y residuos, identificando sus etapas, documentos, actores y puntos de control.
- Identificar brechas, errores recurrentes y oportunidades de mejora, con énfasis en HDS no conformes con los requisitos aplicables, registros incompletos, dificultades de trazabilidad y criterios de homologación documental.
- Aplicar principios de metodologías AGILE para documentar requerimientos, ordenar observaciones, priorizar mejoras y apoyar el ajuste funcional del sistema informático químico-logístico.
- Comparar herramientas y servicios disponibles o aplicables en el contexto chileno para identificar referencias funcionales, oportunidades de mejora y posibles elementos de diferenciación.
- Proponer acciones que fortalezcan la trazabilidad, el control de registros, la eficiencia documental y la gestión operativa durante la etapa inicial de implementación del sistema.

1.5 Alcance y limitaciones

El estudio comprende la revisión, organización, homologación y control de información técnica y legal asociada a sustancias, HDS, residuos, instalaciones y puntos operativos gestionados por

Zarey Consultores para la organización analizada, asegurando que los antecedentes revisados y validados queden registrados y respaldados en la plataforma informática utilizada como soporte del proceso

No se realizaron ensayos de laboratorio, caracterización analítica de residuos, rediseño físico de instalaciones ni auditorías legales exhaustivas. El alcance se limita a la gestión de información, la trazabilidad documental y la formulación de mejoras para el sistema.

El estudio identifica “Caso 1” y a la plataforma digital como parte del contexto operacional analizado. No obstante, se mantiene la reserva de información interna, antecedentes técnicos específicos y datos operacionales cuya divulgación no haya sido autorizada por las entidades correspondientes.

Los ejemplos se presentan de forma agregada y anonimizada. Cualquier antecedente operativo específico debe ser revisado por la empresa antes de su divulgación.

1.6 Metodología general

Se utilizó un enfoque aplicado, descriptivo y propositivo (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2018). El trabajo se organizó en seis etapas:

- Se levantaron y ordenaron listados de sustancias, HDS, residuos, instalaciones, puntos de almacenamiento y generación, antecedentes regulatorios y registros de trabajo.
- Se caracterizó el proceso actual, identificando entradas, actividades, responsables, decisiones y salidas del flujo de información (Yin, 2018).
- Se diagnosticaron brechas de legibilidad, completitud, coherencia, homologación y vinculación entre registros.
- Se analizaron las funciones del sistema informático como soporte para la centralización, validación y trazabilidad de los datos.
- Se efectuó una comparación funcional exploratoria con soluciones y sistemas de referencia, utilizando información pública disponible.
- Finalmente, se formuló una propuesta con criterios de revisión, requerimientos funcionales, acciones priorizadas.

1.7 Herramientas empleadas

El trabajo utiliza listados maestros, hojas de cálculo, registros exportados, HDS, antecedentes regulatorios, matrices de revisión y el sistema informático químico-logístico del caso. Dentro de estas fuentes, la Master Data concentra información de referencia utilizada para estandarizar y validar los registros, incluyendo clasificaciones y elementos del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (GHS), pictogramas de peligro, criterios contenidos en el Libro Púrpura de las Naciones Unidas, recomendaciones del Libro Naranja de las Naciones Unidas relativas al transporte de mercancías peligrosas, disposiciones del D.S. N.° 57/2019, antecedentes de la Guía de Respuesta en Caso de Emergencia (GRE), normas técnicas y normativa nacional aplicable a sustancias químicas, almacenamiento, transporte, exposición ocupacional y residuos. Estas herramientas se emplean para organizar fuentes, clasificar observaciones, aplicar criterios de revisión, documentar decisiones y preparar indicadores. Las fuentes normativas y técnicas utilizadas se identifican mediante sus respectivas versiones y ediciones cuando esta información resulta necesaria para interpretar los criterios aplicados. Entre ellas se consideran el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos, las recomendaciones de Naciones Unidas sobre transporte de mercancías peligrosas y las disposiciones reglamentarias chilenas aplicables al proceso. (United Nations, 2025a) (United Nations, 2025).

2. Marco teórico y normativo

2.1 Gestión de sustancias químicas en contextos industriales

La gestión de sustancias químicas comprende la identificación, clasificación, almacenamiento, manipulación y actualización de la información técnica asociada a sustancias y mezclas utilizadas en una instalación. En contextos industriales, esta gestión no se limita al cumplimiento documental, sino que se relaciona directamente con la continuidad operacional, la seguridad de las personas, la protección del medio ambiente y la capacidad de responder ante emergencias. Por ello, disponer de información confiable y actualizada resulta fundamental para identificar peligros, evaluar riesgos y establecer medidas preventivas y de control acordes con las condiciones reales de operación (United Nations Environment Programme, 2023) (Ministerio de Salud, 2021).

En la industria del petróleo, las sustancias químicas cumplen funciones indispensables en distintas etapas del proceso. Algunas actúan como materias primas, productos intermedios o productos terminados; otras permiten acondicionar corrientes, controlar impurezas, ajustar condiciones de operación, proteger equipos, mantener la calidad del producto, realizar actividades de mantenimiento o tratar residuos y efluentes. En este sentido, la correcta gestión de sustancias químicas no solo permite conocer qué productos existen en una instalación, sino también comprender qué función cumplen dentro del proceso y qué consecuencias podría generar una falla en su identificación, almacenamiento o disponibilidad de información.

Entre las sustancias prioritarias se encuentran, en primer lugar, las mezclas hidrocarburadas y productos asociados a la operación principal, debido a su participación directa en los procesos de almacenamiento, transferencia, tratamiento, formulación o despacho. Estas sustancias suelen presentar peligros relevantes asociados a inflamabilidad, toxicidad, emisiones, derrames o afectación ambiental, por lo que requieren información técnica clara sobre sus propiedades, compatibilidades, condiciones de manejo y respuesta ante emergencias (United Nations, 2025a).

En segundo lugar, se encuentran los reactivos químicos utilizados para acondicionamiento, neutralización, limpieza, ajuste de pH, tratamiento de corrientes o control de condiciones operacionales. Sustancias como ácidos, bases u otros productos corrosivos pueden resultar indispensables para mantener determinados parámetros del proceso, pero también representan riesgos significativos para las personas, la infraestructura y el ambiente si no se manipulan o

almacenan correctamente. Su gestión debe considerar peligrosidad, compatibilidad química, concentración, ubicación, volumen disponible, elementos de protección personal y medidas de contención.

Asimismo, existen aditivos, catalizadores, inhibidores, solventes, lubricantes y productos auxiliares que, aunque pueden utilizarse en cantidades menores, cumplen funciones relevantes para la eficiencia, estabilidad o seguridad del proceso. Estos productos pueden contribuir al control de corrosión, mejora de propiedades, protección de equipos, mantenimiento operacional o aseguramiento de calidad. Por ello, no deben evaluarse únicamente por su volumen almacenado, sino también por su función crítica dentro de la operación y por los riesgos asociados a su uso.

A lo anterior se suman las sustancias y residuos generados durante el funcionamiento de la instalación, tales como borras, lodos, aceites usados, residuos contaminados, envases, efluentes u otros residuos peligrosos y no peligrosos. Estos materiales requieren una gestión diferenciada, ya que deben ser identificados, clasificados, almacenados temporalmente, transportados y destinados conforme a la normativa aplicable. En este caso, la trazabilidad resulta esencial para asegurar que el residuo pueda vincularse con su punto de generación, características de peligrosidad, instalación asociada, documentos de respaldo y disposición final (Ministerio de Salud, 2004).

De esta forma, las sustancias químicas presentes en una instalación industrial pueden ser prioritarias por distintos criterios: por su peligrosidad intrínseca, por el volumen almacenado, por su participación directa en una etapa crítica del proceso, por su frecuencia de uso, por su potencial impacto en la seguridad o el ambiente, o por las exigencias normativas asociadas a su manejo. Por ello, una sustancia de bajo volumen también puede ser relevante si cumple una función crítica, mientras que una sustancia almacenada en grandes cantidades puede requerir mayor control por sus consecuencias potenciales ante una emergencia.

La información asociada a cada sustancia debe permitir relacionarla con su función dentro del proceso, ubicación, características de peligro, capacidad de almacenamiento, condiciones de manejo, compatibilidades, controles operacionales, elementos de protección personal y acciones frente a emergencias. De esta manera, el registro químico no se limita a identificar el producto, sino que proporciona antecedentes para apoyar decisiones sobre almacenamiento, manipulación,

revisión documental, respuesta ante incidentes, cumplimiento normativo y continuidad operacional.

Una gestión deficiente de estos antecedentes puede traducirse en duplicidades, errores de clasificación, documentos desactualizados, desconocimiento de la función real de una sustancia, dificultades para acceder oportunamente a sus HDS o problemas para vincularla con instalaciones, residuos o procesos específicos. En consecuencia, la correcta administración y centralización de la información constituye un elemento de apoyo para la gestión del riesgo químico, al conectar las características técnicas de las sustancias con las condiciones reales bajo las cuales son almacenadas, utilizadas, transportadas o gestionadas como residuos.

2.2 Ciclo de vida documental de una sustancia química

El ciclo de vida documental comprende aprobaciones de importación, el ingreso, la revisión, la homologación, el uso, la actualización y el reemplazo de la información asociada a una sustancia. En esta memoria, el concepto se refiere al recorrido de los datos y documentos, no a la transformación fisicoquímica del producto (International Organization for Standardization, 2016).

Para asegurar trazabilidad, el registro de una sustancia debe vincularse con su HDS aplicable, su clasificación, la instalación y el punto de almacenamiento correspondiente. Cuando alguno de estos vínculos falta, el sistema pierde capacidad de seguimiento (Moreau & Missier, 2013).

2.3 Hojas de Datos de Seguridad como instrumento de gestión

Las hojas de datos de seguridad (HDS) comunican los peligros asociados a sustancias y mezclas y reúnen información relativa a prevención, manipulación, almacenamiento, controles de exposición, transporte, eliminación y respuesta ante emergencias. Desde la perspectiva de la gestión del riesgo químico, estos documentos permiten transformar información técnica del producto en criterios aplicables para la operación, la prevención y la toma de decisiones frente a situaciones normales y de emergencia.

Además de su función documental, la HDS constituye una herramienta de apoyo para la prevención del riesgo químico. Su información permite que operadores y personas trabajadoras reconozcan los peligros de los productos utilizados, consulten las medidas de manipulación segura, los elementos de protección personal requeridos y las acciones que deben adoptar frente

a una exposición, derrame, incendio o liberación accidental. Esta información resulta especialmente relevante cuando se trabaja con sustancias inflamables, corrosivas, tóxicas, reactivas o peligrosas para el medio ambiente, ya que una respuesta incorrecta puede aumentar la severidad del evento y afectar tanto a las personas como a las instalaciones.

Desde el punto de vista operativo, la HDS permite identificar condiciones críticas asociadas al peligro químico, tales como incompatibilidades, productos de descomposición peligrosos, medios de extinción adecuados, controles de exposición, límites de manipulación segura, medidas de contención y procedimientos básicos de primeros auxilios. Por ello, su disponibilidad y correcta interpretación no solo favorecen el cumplimiento normativo, sino que también permiten reducir la incertidumbre durante una emergencia y orientar las primeras acciones de control.

Asimismo, la HDS aporta antecedentes relevantes para el actuar de brigadas de emergencia, equipos de respuesta interna, Bomberos y otros organismos que puedan intervenir ante un incidente. En situaciones de derrame, incendio, fuga o exposición accidental, la información contenida en el documento puede apoyar la definición de zonas de aislamiento, selección de elementos de protección personal, control de fuentes de ignición, contención del producto, ventilación del área, elección del agente extintor y medidas para evitar que la sustancia alcance cursos de agua, suelos u otras áreas sensibles.

La utilidad de la HDS también puede extenderse hacia la protección de personas trabajadoras no especializadas y comunidades cercanas, especialmente cuando existen sustancias almacenadas en volúmenes relevantes o con peligros significativos. Un evento químico mal controlado puede generar emisiones, vapores, incendios, explosiones, escurrimientos o exposición indirecta fuera del punto de origen. En este contexto, la información técnica del producto permite apoyar la planificación de respuestas, la comunicación de riesgos, la definición de medidas de resguardo y la coordinación con los equipos responsables de emergencias internas y externas.

En el Caso 1, las HDS deben estar disponibles para quienes manipulan las sustancias y formar parte de los antecedentes accesibles en las instalaciones de almacenamiento. Esta disponibilidad resulta fundamental, ya que el documento debe poder consultarse oportunamente antes de ejecutar actividades de operación, mantenimiento, transporte, almacenamiento o respuesta ante

incidentes. Sin embargo, para que cumpla su función preventiva, la HDS debe encontrarse actualizada, ser legible, estar en idioma comprensible para los usuarios y presentar información coherente con las condiciones reales de uso del producto.

En el proceso estudiado, las HDS constituyen la principal fuente documental para revisar y homologar antecedentes relacionados con identificación, composición, clasificación de peligros, almacenamiento, controles de exposición, transporte y eliminación. Por esta razón, la revisión no se limita a verificar la existencia del documento, sino que considera su legibilidad, vigencia, integridad y coherencia con las características del producto y su contexto operacional.

Tabla 1. Secciones y contenidos de una HDS (Ministerio de Salud, 2021).

Sección(es)	Contenido revisado	Uso en la gestión
1	Identificación del producto, proveedor, uso y teléfono de emergencia.	Validar identidad y trazabilidad de origen.
2	Clasificación, elementos de la etiqueta y otros peligros.	Controlar comunicación de peligros.
3	Composición e identificación de componentes cuando corresponda.	Respaldar homologación y evaluación técnica.
4-6	Primeros auxilios, incendio y liberación accidental.	Preparar respuesta ante emergencias.
7-8	Manipulación, almacenamiento, controles de exposición y EPP.	Definir medidas operativas y preventivas.
9	Propiedades físicas y químicas.	Apoyar clasificación, compatibilidad y transporte.
10-12	Estabilidad, reactividad, toxicología y ecología.	Evaluar coherencia de peligros y controles.
13	Consideraciones sobre disposición.	Orientar la gestión de residuos sin reemplazar la clasificación legal.
14-15	Transporte e información reglamentaria.	Verificar coherencia logística y normativa.
16	Fecha, versión, cambios y otras informaciones.	Controlar vigencia e historial documental.

Una HDS ilegible, incompleta, desactualizada o no alineada con los requisitos aplicables puede generar una brecha que trasciende el control documental, debido a que dificulta la correcta comunicación de peligros y limita el acceso oportuno a información necesaria para la operación, el transporte y la respuesta ante emergencias. En una situación crítica, esta deficiencia puede afectar la toma de decisiones del personal operativo, retrasar la actuación de los equipos de emergencia, inducir el uso de medidas de control inadecuadas o dificultar la coordinación con organismos externos.

En consecuencia, la revisión y homologación de las HDS deben preceder a la aprobación del registro en la plataforma, de manera que la información disponible pueda utilizarse efectivamente como soporte para la prevención y gestión del riesgo químico. Esto permite fortalecer la seguridad de las personas trabajadoras, apoyar el actuar de brigadas y equipos de emergencia, reducir impactos potenciales sobre instalaciones y medio ambiente, y favorecer una respuesta más organizada frente a eventos que puedan afectar a comunidades o áreas cercanas

2.3.1 Conformidad documental, aplicabilidad y vigencia de las HDS

El D.S. N.° 57/2019 constituye actualmente el marco regulatorio principal para la clasificación, etiquetado y elaboración de hojas de datos de seguridad de sustancias químicas y mezclas peligrosas en Chile. Sus artículos 270 a 274 establecen, entre otros aspectos, la obligación del proveedor de entregar una HDS cuando corresponda, asegurar la veracidad y completitud de su contenido, identificar su versión y estructurar la información en dieciséis secciones sin espacios en blanco. Además, el artículo 271 establece que su elaboración debe estar a cargo de personas competentes, con formación técnico-profesional y experiencia en áreas como química, toxicología, prevención de riesgos o medio ambiente. (Ministerio de Salud, 2021, arts. 270-274)

Desde una perspectiva crítica, el modelo regulatorio chileno no establece una certificación o aprobación previa de cada HDS por parte de un organismo público o entidad certificadora. La responsabilidad primaria sobre la exactitud y suficiencia de la información recae en el proveedor, fabricante o importador, según corresponda. El control regulatorio opera principalmente mediante la fiscalización posterior del cumplimiento del D.S. N.° 57/2019, función que corresponde a las Secretarías Regionales Ministeriales de Salud dentro de sus respectivos territorios. Esto implica que la existencia de una HDS no garantiza por sí sola su conformidad técnica, por lo que resulta necesario establecer controles documentales internos antes de incorporar su información a los sistemas de gestión.

Además de la fiscalización, existen herramientas oficiales que apoyan la implementación del marco regulatorio, tales como la Plataforma de Sustancias Químicas y el Portal GHS-Chile. La Plataforma de Sustancias Químicas se vincula con los procesos de notificación establecidos en el D.S. N.° 57/2019, mediante los cuales fabricantes e importadores deben informar determinadas sustancias peligrosas, sus cantidades, usos, clasificación de peligro y antecedentes asociados. Por su parte, el Portal GHS-Chile reúne información sobre clasificación, etiquetado,

HDS, guías de implementación, material de apoyo y capacitaciones relacionadas con el Sistema Globalmente Armonizado. Estas herramientas contribuyen a orientar la aplicación de la normativa y fortalecer las competencias técnicas de quienes revisan o utilizan información química. Sin embargo, no reemplazan la revisión interna ni constituyen una certificación individual de cada HDS (Ministerio de Salud, s.f.) (Ministerio de Salud, 2021).

En este sentido, los cursos y materiales de capacitación sobre sustancias químicas y GHS cumplen un rol complementario, ya que permiten mejorar la comprensión de criterios de clasificación, comunicación de peligros, etiquetado, elaboración e interpretación de HDS. Su utilidad radica en entregar una base común para que el personal técnico, operacional y preventivo pueda interpretar correctamente la información contenida en estos documentos y aplicarla en actividades de almacenamiento, manipulación, transporte, respuesta ante emergencias y control documental.

En el caso estudiado, este control se materializa mediante la revisión y homologación de las HDS recibidas. Para productos importados, el procedimiento interno contempla solicitar previamente la homologación de la HDS y el diseño de la etiqueta, mientras que las HDS deben permanecer disponibles para quienes manipulan las sustancias y respaldadas en la plataforma utilizada por la organización. Por tanto, la homologación desarrollada en este proceso debe entenderse como un control técnico interno de conformidad y aplicabilidad, y no como una certificación oficial de la HDS.

La conformidad documental debe, además, diferenciarse de la aplicabilidad. Una HDS puede contener formalmente las dieciséis secciones exigidas y, aun así, no corresponder al producto, formulación, proveedor o condiciones bajo las cuales será utilizada en Chile. Por esta razón, la primera decisión consiste en verificar la identidad y alcance del documento. Posteriormente se revisan su estructura, contenido y coherencia interna. Este orden evita validar documentos formalmente completos que no respaldan adecuadamente el producto registrado.

La vigencia tampoco debe interpretarse como una fecha de expiración universal. El artículo 273 establece que el proveedor debe actualizar la HDS dentro de un plazo máximo de seis meses cuando exista nueva información sobre la clasificación de peligros o sobre medidas de gestión de riesgos, o cuando se incorpore una nueva restricción o prohibición en la regulación nacional. En consecuencia, el control debe considerar fecha, versión, modificaciones y antecedentes

regulatorios que puedan activar una actualización. Una revisión periódica interna puede utilizarse como mecanismo preventivo, pero no debe confundirse con una caducidad normativa automática. (Ministerio de Salud, 2021, art. 273)

Finalmente, la revisión debe considerar la coherencia entre las distintas secciones. La identificación y composición deben sustentar la clasificación. Los peligros declarados deben ser consistentes con las propiedades fisicoquímicas, toxicológicas y ecotoxicológicas. Las condiciones de almacenamiento deben responder a la estabilidad y reactividad del producto. La información de transporte y reglamentación no debe contradecir su naturaleza declarada. De esta manera, el control aplicado no se limita a comprobar la existencia de las dieciséis secciones, sino que busca determinar si la HDS constituye un respaldo técnicamente consistente, vigente y aplicable para la gestión del riesgo químico.

2.4 Gestión de residuos industriales y peligrosos

La gestión de residuos industriales incluye su identificación, clasificación, almacenamiento, transporte, tratamiento, valorización o disposición. En la industria del petróleo, estos residuos provienen tanto del proceso principal como del mantenimiento, la limpieza y los servicios auxiliares.

Para los residuos peligrosos, el D.S. N.° 148/2003 exige controlar su manejo desde la generación hasta el destino correspondiente. En términos documentales, esto requiere vincular cada residuo con su clasificación, origen, almacenamiento y antecedentes de transporte o disposición. (Ministerio de Salud, 2004)

La gestión de residuos no debe separarse de la gestión química: el origen de un residuo suele estar asociado al uso de una sustancia, mezcla o material. La relación entre ambos registros mejora la comprensión del ciclo operacional (Ministerio de Salud, 2004).

2.4.1 Diferencia entre información de producto y clasificación de residuo

La HDS de un producto es un antecedente útil para conocer componentes y peligros, pero no determina automáticamente la clasificación del residuo generado después de su uso. El residuo puede contener contaminantes, productos de reacción, agua, sólidos u otras sustancias que modifiquen su composición y comportamiento. Por ello, la caracterización del residuo debe

considerar su origen, el proceso que lo genera, antecedentes analíticos cuando sean necesarios y los criterios del D.S. N.° 148/2003.

Los artículos 10 y 11 del D.S. N.° 148/2003 establecen que un residuo es peligroso cuando presenta riesgo debido a una o más características de toxicidad aguda, toxicidad crónica, toxicidad extrínseca, inflamabilidad, reactividad o corrosividad. La presencia de una sola característica es suficiente para calificarlo como peligroso. En consecuencia, la plataforma debe registrar el fundamento de la clasificación y no limitarse a replicar la clase de transporte o el peligro del producto original. (Ministerio de Salud, 2004, arts. 10-11)

La trazabilidad interna debe complementar, y no sustituir, los instrumentos oficiales. El sistema de declaración y seguimiento regulado por el D.S. N.° 148/2003 busca disponer de información desde la salida del establecimiento generador hasta la recepción en una instalación de eliminación. El sistema informático del caso puede preparar y ordenar antecedentes, controlar responsables y detectar faltantes, pero las declaraciones, autorizaciones y obligaciones de cada actor conservan su naturaleza propia.

2.5 Homologación documental

La homologación documental consiste en revisar y estandarizar información proveniente de fuentes distintas para convertirla en registros comparables y verificables (International Organization for Standardization, 2016).

En una HDS, este proceso incluye la revisión de secciones, la consistencia de la clasificación, el control de la versión, la información de almacenamiento y la coherencia entre transporte, eliminación y regulación.

El uso de criterios comunes reduce duplicidades, diferencias de nomenclatura y decisiones dependientes exclusivamente del criterio individual del revisor.

2.6 Tecnologías de información aplicadas a la gestión químico-logística

Las tecnologías de información permiten relacionar datos, documentos y ubicaciones dentro de una misma estructura, facilitando la centralización de HDS, el control de estados, la búsqueda de antecedentes y el registro de cambios. Sin embargo, su utilidad en la gestión de sustancias químicas depende de la interacción entre la herramienta tecnológica y un equipo técnico especializado que mantenga, valide y actualice la información contenida en ella.

En este contexto, la plataforma funciona mediante una relación complementaria entre el equipo de tecnologías de información y los profesionales vinculados a la gestión química. El equipo IT proporciona soporte a la arquitectura del sistema, disponibilidad, funcionamiento de módulos, gestión de usuarios, almacenamiento de datos e implementación de mejoras funcionales. Por su parte, los ingenieros químicos y profesionales especialistas aportan los conocimientos técnicos necesarios para definir campos, reglas de validación, clasificaciones, catálogos y relaciones entre sustancias, residuos e instalaciones. Asimismo, participan en la carga y actualización de información, la elaboración y mantenimiento de datos maestros (*Master Data*), la definición de criterios de aceptación y las reuniones de coordinación con el cliente para identificar necesidades operacionales y oportunidades de mejora.

Esta interacción permite que los requerimientos operacionales sean traducidos en funcionalidades informáticas. Por ejemplo, una necesidad técnica como controlar la vigencia de una HDS, identificar incompatibilidades o relacionar una sustancia con una instalación debe ser definida inicialmente desde el conocimiento químico y normativo, para posteriormente ser implementada por el equipo tecnológico mediante campos, alertas, restricciones o asociaciones dentro del sistema. A su vez, las limitaciones o posibilidades de la plataforma deben ser comunicadas al equipo técnico para ajustar los criterios y procedimientos de gestión.

En esta memoria, la expresión sistema informático químico-logístico designa la plataforma utilizada para gestionar sustancias, residuos y documentos asociados. Su operación debe entenderse como el resultado de esta sinergia entre tecnología y conocimiento especializado, donde el equipo IT mantiene y desarrolla la herramienta, mientras que los profesionales del área química entregan contenido, criterios técnicos y validación para mantenerla actualizada y aplicable al contexto operacional.

La digitalización, por tanto, no corrige por sí sola los errores de origen. Su aporte depende tanto de campos obligatorios, reglas de validación, catálogos controlados y procedimientos de actualización, como de la participación permanente de profesionales competentes que revisen la información y orienten la evolución de la plataforma conforme cambian los procesos, los productos y los requerimientos normativos.

2.7 Marco normativo aplicable

El marco normativo aplicable se relaciona principalmente con la clasificación y comunicación de peligros, el almacenamiento de sustancias peligrosas, el manejo de residuos, la exposición de las personas trabajadoras y el transporte de mercancías peligrosas. A estos reglamentos se suman normas técnicas chilenas que entregan criterios para la clasificación de mercancías peligrosas, señalización, identificación de riesgos y elaboración de HDS. Su aplicación debe considerar la versión vigente o aquella expresamente referenciada por el reglamento correspondiente.

Tabla 2. Marco normativo y aplicación documentación.

Norma o reglamento	Materia	Evidencia o dato asociado	Uso y límite en la plataforma
Ley N.° 20.000 y D.S. N.° 1.358/2006	Control de precursores y sustancias químicas esenciales utilizadas en la fabricación ilícita de drogas.	Sustancias incluidas en las listas de control, como acetona, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, tolueno, entre otras.	Permite identificar sustancias sujetas a control especial. No reemplaza la inscripción ni las obligaciones ante la autoridad competente.
D.S. N.° 57/2019	Clasificación, etiquetado, notificación y HDS de sustancias y mezclas peligrosas.	HDS, clasificación GHS, pictogramas, indicaciones de peligro y consejos de prudencia.	Controlar campos, homologación y observaciones; no sustituye la evaluación técnica del producto.
D.S. N.° 43/2015	Almacenamiento de sustancias peligrosas.	Inventario, ubicación, capacidad de almacenamiento, HDS, clase de peligro y antecedentes de instalaciones.	Relacionar sustancias con instalaciones y almacenamientos; no acredita por sí sola el cumplimiento de las condiciones físicas de la instalación.
D.S. N.° 148/2003	Manejo sanitario de residuos peligrosos.	Clasificación del residuo, punto de generación,	Mantener trazabilidad del residuo; no reemplaza declaraciones,

		almacenamiento, transporte y destino.	autorizaciones ni planes de manejo exigibles.
D.S. N.° 594/1999	Condiciones sanitarias y ambientales en los lugares de trabajo y límites de exposición.	Límites de exposición, medidas preventivas, controles y EPP.	Organizar información preventiva; no constituye una evaluación de exposición ocupacional.
D.S. N.° 298/1994	Transporte de cargas peligrosas por calles y caminos.	Número NU, clase de peligro, Guia GRE y condiciones asociadas al transporte.	Apoyar la revisión de información logística; no reemplaza el control operacional del transporte.
NCh 382:2021	Clasificación de mercancías peligrosas.	Clase y división de peligro para transporte.	Estandarizar la clasificación utilizada en registros de transporte y almacenamiento cuando corresponda.
NCh 2190:2019	Distintivos para la identificación de peligros en el transporte terrestre de mercancías peligrosas.	Rótulos, clase o división de peligro y señalización asociada.	Relacionar la sustancia con su identificación visual para transporte y determinados almacenamientos.
NCh 1411/4:2000	Señales de seguridad para la identificación de riesgos de materiales.	Rombo de identificación de riesgos y señalización complementaria.	Incorporar información visual de apoyo para instalaciones y registros; no reemplaza el etiquetado GHS exigido por el D.S. N.° 57/2019.

Fuente: elaboración propia a partir de los textos vigentes de la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. El D.S. N.° 43/2015 se considera con sus modificaciones vigentes.

En los procedimientos del caso estudiado se observa una interacción directa entre reglamentos y normas técnicas. Para la gestión de sustancias peligrosas se utilizan conjuntamente el D.S. N.° 43/2015 y el D.S. N.° 57/2019. Además, se consideran NCh 382, NCh 2190 y NCh 1411/4 para aspectos de clasificación, señalización e identificación de riesgos. En particular, para estanques de sustancias peligrosas se establece señalización conforme a NCh 2190 y NCh 1411/4, junto

con los requisitos de almacenamiento definidos por el D.S. N.° 43/2015. El procedimiento interno incorpora entre sus referencias el D.S. N.° 43/2015, D.S. N.° 57/2019, D.S. N.° 298/1994, D.S. N.° 594/1999, NCh 382, NCh 2190 y NCh 1411/4.

La normativa define las obligaciones y criterios generales, mientras que las normas técnicas permiten estandarizar aspectos específicos de clasificación, señalización y comunicación de peligros. Los registros documentales permiten incorporar estos criterios al proceso y la plataforma facilita su organización, consulta y seguimiento. Sin embargo, la existencia de información en el sistema no constituye por sí sola evidencia de cumplimiento normativo, ya que este depende también de condiciones físicas, operacionales y documentales verificables en terreno.

2.7.1 Lectura integrada del marco regulatorio

El D.S. N.° 57/2019 actúa principalmente sobre la identificación y comunicación de peligros de sustancias y mezclas; el D.S. N.° 43/2015 relaciona esos peligros con condiciones de almacenamiento; el D.S. N.° 594/1999 conecta la información con la protección de las personas en el lugar de trabajo; y el D.S. N.° 148/2003 regula la identificación y el manejo de residuos peligrosos. El proceso documental debe conservar estas diferencias para evitar aplicar un criterio de una etapa como sustituto de otro.

La plataforma puede reunir evidencias asociadas a cada dimensión, pero la existencia de un archivo no demuestra que la condición física, el procedimiento o la autorización se mantengan vigentes en terreno. Por ello, los reportes deben formularse como estado documental o estado de revisión, salvo que exista un proceso de verificación adicional expresamente diseñado para evaluar cumplimiento.

2.8 Relación entre normativa, información y tecnología

La relación entre normativa, información y tecnología es el eje de la memoria. Los requisitos regulatorios orientan los datos que deben controlarse, mientras que la plataforma permite organizarlos y mantener evidencia de revisión.

En la práctica, disponer de una HDS no basta: debe corresponder al producto correcto, encontrarse legible y estar vinculada al registro y a la ubicación aplicables.

Por ello, la gestión químico-logística requiere articular documentos, materiales, ubicaciones y estados de revisión bajo reglas de calidad de datos.3. Caracterización del proceso actual

3.1 Contexto operacional del caso de estudio

El servicio se desarrolla en una operación que utiliza sustancias en actividades de proceso, mantenimiento, limpieza, tratamiento, laboratorio y apoyo. Estas actividades también generan residuos que deben identificarse y vincularse con su origen y manejo posterior.

La etapa analizada corresponde al ordenamiento inicial de información dentro del sistema informático químico-logístico. Antes de cargar un registro, los antecedentes deben revisarse, depurarse y homologarse bajo criterios comunes.

3.1.1 Frontera operacional del proceso

El proceso comienza cuando la organización o sus proveedores entregan antecedentes y termina, para efectos de esta memoria, cuando el registro alcanza un estado documentado dentro de la plataforma y sus observaciones quedan cerradas o asignadas. Las actividades físicas de recepción, almacenamiento, uso, transporte y eliminación no se ejecutan dentro del flujo estudiado; se representan mediante datos y documentos que deben relacionarse con ellas.

Esta frontera permite evaluar el aporte de la consultora y del sistema sin confundirlo con la gestión material en terreno. También aclara los puntos de transferencia de responsabilidad: el proveedor genera o entrega antecedentes; la organización valida el contexto; la consultora revisa y estructura; y la administración de la plataforma mantiene el registro y sus reglas de acceso.

3.2 Alcance de la información levantada

El levantamiento comprende antecedentes de sustancias químicas, HDS, residuos, instalaciones y transporte. Para el Caso 1, el procedimiento de sustancias peligrosas identifica 52 instalaciones de almacenamiento a granel o de cilindros. Este conteo corresponde al ámbito del caso de estudio y debe distinguirse del registro global de instalaciones de la plataforma

Para residuos peligrosos, el Plan de Manejo considera 37 puntos de generación con almacenamiento temporal autorizado, además de un almacenamiento en el Servicio Médico, una tolva de lodos en la Planta de Tratamiento de Efluentes y puntos potenciales asociados a actividades de mantención o construcción. En cuanto al transporte, el consolidado documental

reúne 148 registros de autorizaciones vehiculares, que al eliminar repeticiones corresponden a 128 patentes únicas de vehículos o equipos de transporte, considerando autorizaciones tanto para RESPEL como para RESNOPEL.

Este volumen exige criterios homogéneos de revisión y actualización para evitar duplicidades, documentos no aplicables y pérdida de trazabilidad. Las fuentes analizadas incluyen listados de sustancias y residuos, HDS, instalaciones, puntos de almacenamiento y generación, resoluciones o autorizaciones disponibles, homologaciones, registros de transporte y observaciones técnicas.

La Figura 1 presenta información del estado documental de las hojas de datos de seguridad registradas en la plataforma digital, considerando un universo general de 2.028 HDS correspondiente al conjunto del sistema. Esta información se utiliza para contextualizar el volumen de documentos administrados por la plataforma y debe distinguirse de los resultados de revisión específicos para Caso 1, presentados en la sección 4.3.

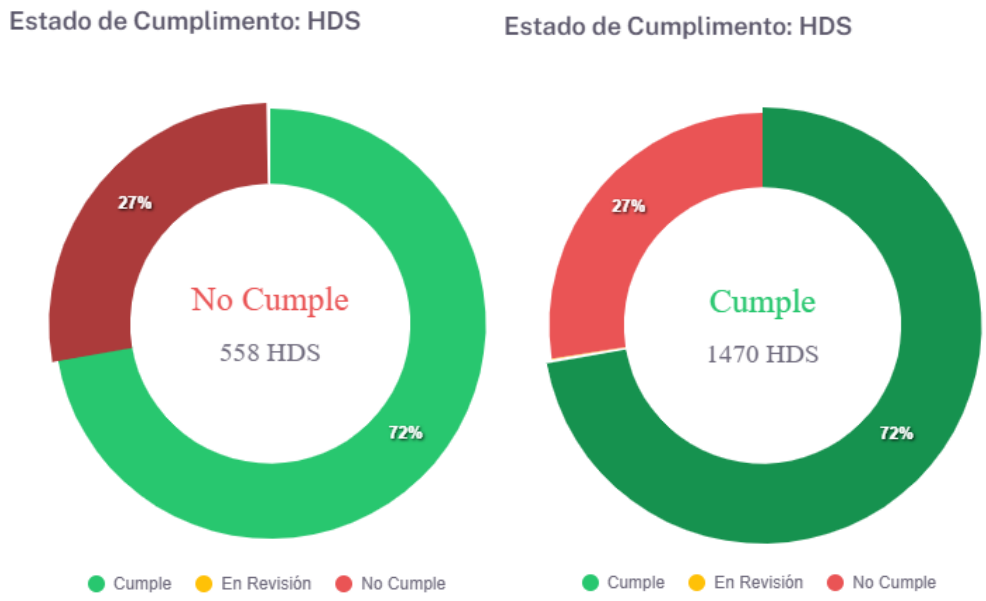


Figura 1. Datasheet únicamente de las sustancias en calidad de aprobado y rechazado total de la plataforma.

3.3 Actores y roles del proceso

El proceso involucra a la consultora, la organización mandante, los revisores, los responsables operacionales, los proveedores y los administradores de la plataforma. Sus responsabilidades se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3. Actores y responsabilidad del proceso.

Actor	Rol	Responsabilidad principal
Zarey Consultores	Ejecutor técnico y documental.	Levantar, revisar, homologar y estructurar información.
Organización mandante	Propietaria del proceso y de los datos.	Entregar antecedentes y validar el contexto operacional.
Equipo área de gestión de procesos químicos	Control documental y técnico.	Diseño de mockups o prototipos de interés, mediante metodología AGILE, aplicar criterios, registrar decisiones y gestionar observaciones.
Responsables operacionales	Conocimiento de instalaciones y actividades.	Validar ubicaciones, usos y puntos de generación o almacenamiento.
Proveedores o fabricantes	Fuente de productos y documentos.	Entregar HDS y antecedentes actualizados.
Administración de la plataforma (Equipo IT)	Gestión del sistema.	Soporte y modificación directa en la plataforma.

La calidad final depende de la coordinación entre quienes conocen el contexto operacional y quienes revisan o estructuran la información.

3.4 Flujo actual del proceso de gestión

El flujo actual transforma antecedentes dispersos en registros, para ello sigue una serie de entradas que se aprecian a continuación en la Figura 2:



Figura 2. Flujo de gestión.

3.4.1 Descripción de las etapas y sus salidas

Recepción y registro de fuente. Los archivos y listados se reciben con distintos formatos. La salida esperada es un inventario de fuentes que identifique procedencia, fecha y alcance. Si no se conoce el origen o el archivo no puede abrirse, el antecedente debe quedar registrado como pendiente y no incorporarse como evidencia validada.

Clasificación y preselección. Los antecedentes se separan por tipo: sustancias, HDS, residuos, ubicaciones, autorizaciones u observaciones y se identifican duplicados aparentes. La salida es un conjunto organizado para revisión. En esta etapa no se elimina información ambigua sin conservar una referencia que permita justificar la decisión.

Revisión técnica y documental. Se comprueba identidad, aplicabilidad, legibilidad, completitud, coherencia y versión. La salida es una decisión preliminar y una lista de brechas. Cuando la información requiere conocimiento de terreno o del proceso, la observación se deriva al responsable operacional en lugar de resolverse por inferencia.

Homologación. Los nombres, categorías, unidades y ubicaciones se normalizan respecto de catálogos definidos. La salida es un registro canónico con alias y referencias de origen. La decisión de fusionar dos entradas debe quedar documentada, especialmente si las formulaciones, proveedores o versiones no son idénticos.

Carga y asociación. El registro se incorpora a la plataforma y se vincula con documentos, instalaciones y puntos operativos. La salida es una entidad navegable dentro del sistema. Los campos críticos faltantes deben impedir la aprobación o activar una justificación explícita de no aplicación.

Seguimiento y cierre. Las observaciones se asignan, actualizan y cierran con evidencia. La salida es un historial que permite diferenciar pendientes activos de problemas resueltos. Sin este cierre, la base acumula comentarios, pero no demuestra gestión.

3.5 Gestión de sustancias químicas en el proceso actual

La gestión de una sustancia comienza con la identificación del producto y la verificación de su documentación. El registro debe permitir distinguirlo de productos similares y relacionarlo con su proveedor, uso y ubicación.

Los campos mínimos considerados son nombre homologado, proveedor, uso, HDS asociada, clasificación de peligros, condiciones de almacenamiento, instalación y estado documental.

Cuando la HDS es ilegible, está desactualizada o no corresponde al producto, no es posible completar el registro con suficiente confiabilidad y este debe quedar observado o pendiente.

3.6 Gestión de Hojas de Datos de Seguridad en el proceso actual

Las HDS aportan los datos necesarios para clasificar peligros, definir medidas de manipulación y almacenamiento, revisar controles de exposición y verificar la información de transporte y eliminación.

La revisión considera identificación del producto y proveedor, fecha o versión, estructura, peligros, composición, medidas de emergencia, almacenamiento, exposición, transporte, eliminación e información reglamentaria.

Si el documento presenta una brecha crítica, el registro permanece observado o pendiente hasta que el cliente o el proveedor entregue una versión utilizable.

3.7 Gestión de residuos en el proceso actual

En el registro de residuos se revisan nombre, descripción, clasificación, punto de generación, punto de almacenamiento, instalación y antecedentes de manejo posterior.

Para residuos peligrosos, el D.S. N.° 148/2003 fundamenta la necesidad de conservar trazabilidad entre origen, almacenamiento, transporte y destino. (Ministerio de Salud, 2004)

La asociación con los puntos de generación y almacenamiento permite identificar datos faltantes y relacionar el residuo con el proceso o las sustancias que le dieron origen.

3.8 Relación con instalaciones, puntos de almacenamiento y puntos de generación

Los registros documentales deben vincularse con la infraestructura operacional. Una sustancia o un residuo sin ubicación asociada resulta más difícil de controlar y verificar (Moreau & Missier, 2013).

Para este estudio, una instalación representa un área o unidad operacional; un punto de almacenamiento identifica el lugar de acopio; y un punto de generación señala el origen de un residuo.

Esta jerarquía permite responder dónde se encuentra una sustancia, dónde se genera un residuo y qué documentación respalda cada punto.

3.9 Uso actual del sistema informático químico-logístico

El sistema informático centraliza registros de sustancias, HDS, residuos, instalaciones y puntos operativos, y permite relacionarlos dentro de una misma estructura.

Los registros pueden incorporarse como aprobados, observados o pendientes, siempre que el sistema conserve la fuente, la decisión de revisión y las asociaciones correspondientes.

Asimismo, su funcionamiento y evolución deben responder a las necesidades operacionales del cliente, considerando las particularidades de sus procesos y los requerimientos asociados a la gestión de sustancias químicas y residuos en la industria del petróleo.

4. Diagnóstico de brechas documentales y operativas

4.1 Introducción del capítulo

El diagnóstico reúne las brechas que afectan la calidad documental, la trazabilidad y la eficiencia del proceso. Se basa en la caracterización anterior y en la revisión de los registros preparados o incorporados a la plataforma.

El alcance es documental y operativo, no constituye una auditoría legal ni una certificación de cumplimiento.

4.2 Criterios utilizados para el diagnóstico

El diagnóstico se organizó en tres perspectivas:

- Documental, para revisar legibilidad, completitud y coherencia.
- Operacional, para evaluar la relación con ubicaciones y procesos.
- Tecnológica, para determinar cómo la calidad del dato afecta el uso de la plataforma.

Las brechas se clasificaron según su efecto en la calidad documental, la trazabilidad, la vinculación operativa y el control del sistema.

Este enfoque permite analizar patrones y no solo observaciones aisladas. En una base amplia, la repetición de un error menor puede convertirse en una limitación relevante.

4.2.1 Observación como brecha

Una observación se considera una brecha cuando existe una diferencia entre la condición identificada y los criterios previamente definidos de calidad documental, trazabilidad, coherencia operacional o funcionamiento del sistema. Estos criterios consideran, cuando corresponda, las exigencias establecidas en los decretos supremos y normas técnicas analizados en el capítulo 2. La brecha debe describirse mediante evidencia, registro afectado, criterio incumplido, efecto y acción requerida. Expresiones generales como “información mala” o “plataforma incompleta” no son suficientes para sustentar el diagnóstico.

Las brechas documentales se refieren al contenido o aplicabilidad de la fuente, las operativas, a la relación del registro con el proceso y las ubicaciones, las de gobernanza, a responsabilidades, estados y decisiones y las tecnológicas, a validaciones o capacidades necesarias para aplicar el

control. Una misma observación puede tener más de una dimensión, pero debe asignarse una causa principal para evitar duplicar su conteo.

4.3 Brechas documentales asociadas a HDS y registros técnicos

La principal brecha documental observada correspondió a la presencia de HDS ilegibles, incompletas, desactualizadas o que requerían adecuaciones respecto de los criterios documentales aplicables. Estas condiciones dificultan la extracción de información confiable y pueden generar campos incompletos, observaciones y reprocesos durante la homologación y carga de antecedentes en la plataforma.

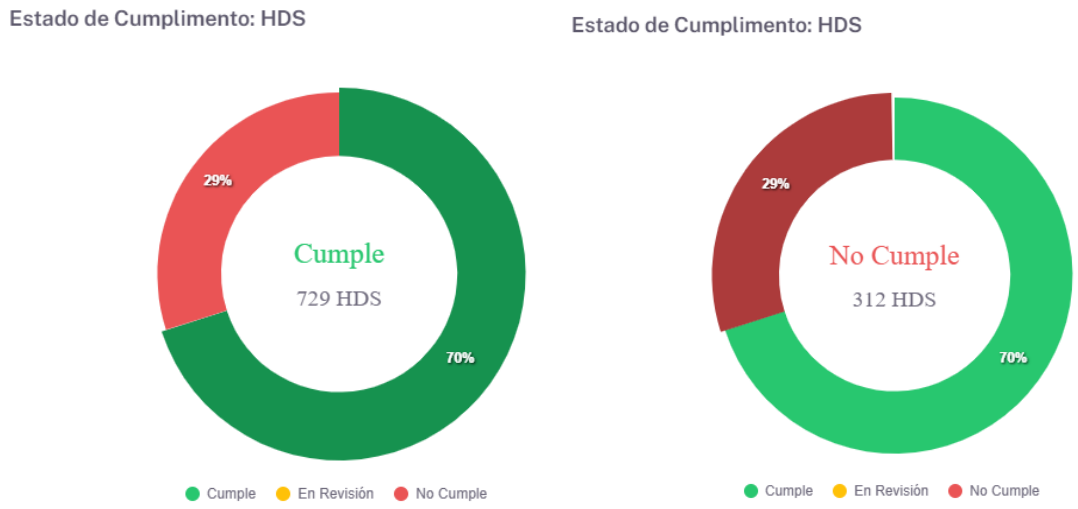


Figura 3. Estado de cumplimento Caso 1.

Los datos obtenidos directamente de la plataforma, correspondientes a septiembre de 2026, comprenden 1.041 HDS asociadas exclusivamente al Caso 1. De ellas, 729 (70 %) figuraban en estado “Cumple” y 312 (30 %) en estado “No cumple”. Para estas últimas, la plataforma registra el motivo del rechazo.

Estas cifras describen el estado documental registrado para el Caso 1 y deben distinguirse de las 2.028 HDS correspondientes al conjunto de la plataforma, presentadas en la sección 3.2. Debido a sus diferentes alcances, ambos conjuntos no deben utilizarse para comparar directamente sus porcentajes de conformidad.

La revisión consideró tanto la existencia del documento como su coherencia interna, verificando antecedentes asociados a la identificación, composición, clasificación de peligros, almacenamiento, controles de exposición, transporte y eliminación. Una HDS puede encontrarse

formalmente disponible y, sin embargo, no resultar adecuada para respaldar un registro cuando presenta información insuficiente, contradictoria, desactualizada o no aplicable al producto analizado.

Tabla 4. Tipos de brechas encontradas.

Brecha	Descripción	Efecto
Documento ilegible o incompleto	Escaneo deficiente, páginas faltantes o contenido no utilizable.	Impide extraer datos confiables.
Versión no controlada	Fecha, versión o historial de actualización ausentes o no verificables.	Genera incertidumbre sobre la aplicabilidad del documento.
No conformidad documental	Estructura o contenido insuficiente respecto de los requisitos aplicables.	Obliga a observar, actualizar o rechazar el documento.
Inconsistencia interna	Diferencias entre peligros, almacenamiento, transporte o regulación.	Reduce la confiabilidad técnica.
Identificación incompleta	Producto, proveedor, importador o contacto de emergencia no presentes en territorio chileno.	Debilita la relación entre documento y producto.

La presencia de estas brechas tiene un efecto directo sobre la calidad de los registros técnicos, debido a que una deficiencia presente en el documento de origen puede trasladarse posteriormente a la información almacenada en la plataforma. Esto puede afectar la clasificación del producto, su asociación con instalaciones, las condiciones de almacenamiento, la información de transporte o los antecedentes utilizados para la gestión del riesgo químico.

El aporte de la Ingeniería Civil Química en este trabajo se relaciona con la revisión de la identidad y composición de los productos, la coherencia de su clasificación de peligros y la vinculación de esta información con su contexto operacional. La identificación del producto y sus componentes permite relacionarlo con la HDS correspondiente y revisar la consistencia de sus antecedentes técnicos.

La trazabilidad documental y operacional busca relacionar cada producto con su HDS, la versión utilizada y los antecedentes de ubicación y transporte. En el ámbito portuario, este control puede apoyar la preparación de la documentación exigida para el ingreso o salida de mercancías peligrosas. Cuando una HDS no cumple los requisitos aplicables a la operación, su regularización puede ser necesaria para autorizar el movimiento de la carga.

Desde la Ingeniería Civil Química, la revisión de la identidad, composición y clasificación de peligros del producto aporta fundamentos técnicos para comprobar la consistencia de esa documentación. Su utilidad se relaciona tanto con la información necesaria para gestionar los riesgos como con la continuidad de las operaciones.

4.3.1. Motivos de rechazo identificados durante la revisión de HDS

Durante las revisiones de HDS para el Caso 1 se identificaron distintos motivos de rechazo, cuyas observaciones quedaron registradas en la plataforma. Este apartado analiza las omisiones e inconsistencias detectadas, sus posibles implicaciones para la gestión documental y operacional, y las correcciones requeridas. La Tabla 5 presenta los motivos de rechazo identificados y los modelos de observación utilizados durante las revisiones. Estos textos se adaptaban a los antecedentes de cada HDS. Los campos entre corchetes representan información variable que debía completarse según las características y deficiencias del documento evaluado.

Tabla 5. Motivos de rechazo y observaciones registradas para las HDS del Caso 1.

Motivo de Rechazo	Observación
HDS presentada con datos de proveedores internaciones	La Hoja de Datos de Seguridad presentada no cumple con la homologación exigida en Chile. Corresponde a un documento de proveedor internacional que no se ajusta al D.S. N° 57/2019 del MINSAL, debido a que no informa los datos del importador en Chile ni adapta su contenido a los requisitos legales nacionales para la gestión de productos químicos.
HDS con formato NCh 2245/2015	Hoja de Datos de Seguridad elaborada de acuerdo a normativa obsoleta (NCh 2245:2015). Debe cumplir con formato exigido por el D.S N°57/2019 del MINSAL.
Incongruencias entre sección 2 y 14	Incongruencia entre Sección 2 y Sección 14. No se señala de forma consistente si el producto posee clasificación según NCh 382 y número ONU, o si no clasifica como sustancia peligrosa para transporte.
HDS con formato internacional	Hoja de Datos de Seguridad elaborada de acuerdo a normativa internacional. Debe cumplir con formato exigido por el D.S N°57/2019 del MINSAL.
Declarar consejos P sin tener H	Se rechaza HDS debido a que presenta consejos de prudencia sin indicaciones de peligro H asociadas. Esta información no permite validar la coherencia de la clasificación del producto, ya que las frases P deben estar respaldadas por una clasificación de peligro y sus respectivas frases H. Se solicita corregir la Sección 2 conforme a DS 57/2019.
Declara en la sección 14 información inconcisa	HDS rechazada por inconsistencia en Sección 14: declara Número UN y designación oficial “No aplica”, pero informa Clase X, grupo de embalaje XX y distintivo de AA(Líquido inflamable). Se solicita corregir clasificación de transporte

HDS con fecha vencida	La HDS presentada registra una vigencia documental vencida, por lo que se solicita presentar una versión actualizada y vigente para su evaluación.
Varias fallas en diversas secciones	La HDS presenta omisiones e inconsistencias en distintas secciones (Tales como: AAAA), por lo que no cumple íntegramente con el D.S. 57/2019. Se solicita presentar una versión actualizada y homologada conforme a la normativa chilena vigente.
Declara H pero sin P suficientes	La HDS presenta inconsistencias en Sección 2, ya que declara indicaciones de peligro H sin incorporar consejos de prudencia P suficientes y coherentes con la clasificación del producto. Se solicita corregir la Sección 2 conforme al D.S. N°57/2019, asegurando coherencia entre clasificación, frases H y consejos P.
Estructura 2245 y citación al DS 57	Hoja de Datos de Seguridad elaborada de acuerdo a estructura obsoleta (NCh 2245:2015). A pesar de citar al D.S N°57/2019 del MINSAL, esta no cumple con formato exigido de forma íntegra.
Declara Indicaciones y Consejos sin los códigos H y/o P	La HDS presenta inconsistencias en Sección 2, ya que declara indicaciones de peligro y consejos de prudencia, coherentes con la clasificación del producto, pero no se indican los códigos H y/o P asociados. Se solicita corregir la Sección 2 conforme al D.S. N°57/2019, asegurando coherencia entre clasificación, frases H y consejos P.
Presenta GHS sin H asociado	La HDS presenta inconsistencias en Sección 2, ya que declara indicaciones de peligro y consejos de prudencia, coherentes con la clasificación del producto, pero se indican GHS que no se relaciona con las indicaciones de peligro. Se solicita corregir la Sección 2 conforme al D.S. N°57/2019, asegurando coherencia entre clasificación, frases H y consejos P.

Los motivos de rechazo se presentan de manera descriptiva a partir de las observaciones recopiladas durante las revisiones documentales. La información disponible permite establecer el total de HDS en estado “No cumple”.

Durante las revisiones se identificaron HDS elaboradas con referencia a NCh 2245:2015 cuya sección 2 presentaba únicamente la clasificación según NCh 382, sin incorporar las clases y categorías de peligro correspondientes al SGA exigibles al producto. La deficiencia afectaba la comunicación estandarizada de sus peligros. La corrección requerida consistía en completar la sección 2 conforme al D.S. N.º 57/2019 y comprobar la coherencia entre clasificación, pictogramas, palabra de advertencia, indicaciones de peligro y consejos de prudencia (Ministerio de Salud, 2021, art. 276). Del universo del 312 en calidad de rechzadas 193 corresponden a este campo lo que equivale al 62%

Asimismo, se encontraron HDS que identificaban a un proveedor extranjero, pero no incorporaban los antecedentes del proveedor en Chile. Esta omisión afectaba la sección 1 y podía dificultar la identificación del contacto local al que solicitar aclaraciones y antecedentes técnicos. La corrección requerida consistía en incorporar los datos del proveedor en Chile y revisar la adecuación del documento a los requisitos nacionales aplicables (Ministerio de Salud, 2021, art. 275). De las cuales 74 corresponden a este tipo que equivale al 23,7%. El conjnto corresponde al 85,6% del total de motivos de rechazo

4.4 Brechas operativas asociadas a sustancias, residuos e instalaciones

Las brechas operativas se originan en registros duplicados, nombres no estandarizados, campos incompletos y asociaciones insuficientes con ubicaciones o documentos (Pipino et al., 2002).

- En sustancias, estas brechas dificultan identificar productos únicos y vincularlos con la HDS y la instalación correcta.
- En residuos, la ausencia de origen, clasificación, punto de generación, almacenamiento o destino impide reconstruir el ciclo de manejo.
- En instalaciones y puntos operativos, las diferencias de nomenclatura, la ausencia de respaldo documental y las inconsistencias en las coordenadas geográficas dificultan la identificación de ubicaciones y debilitan la trazabilidad entre los registros y su contexto operacional.

Tabla 6. Brechas operativas.

Área	Brecha	Efecto sobre la trazabilidad
Sustancias	Duplicados, nombres variables o HDS no asociada.	Dificulta identificar un producto único y su respaldo.
Residuos	Origen, clasificación, almacenamiento o destino incompletos.	Impide reconstruir el ciclo de manejo.
Instalaciones	No se reporta la ubicación correcta	Fragmenta asociaciones y reportes.
Almacenamiento	Punto sin vínculo con instalación o documento.	Debilita el control físico-documental.
Generación	Punto sin residuos asociados o con datos incompletos.	Dificulta identificar el origen.
Observaciones	Comentarios sin responsable, fecha o cierre.	Impide demostrar resolución y mantener historial.

La información solo adquiere valor operativo cuando el material, el documento, la ubicación, el responsable y el estado de revisión están relacionados.

La falta de integración aumenta los tiempos de búsqueda, duplica esfuerzos y dificulta responder consultas internas o requerimientos técnicos.

Las brechas operativas se manifiestan como búsquedas manuales, necesidad de revisar varias fuentes para confirmar un dato, solicitudes repetidas de antecedentes y correcciones posteriores a la carga. También dificultan generar inventarios por instalación, identificar residuos sin origen o determinar qué documentos necesitan actualización. Estos efectos deben medirse, cuando exista información, mediante tiempos de revisión, cantidad de reaperturas u observaciones pendientes. La falta de un identificador único produce un riesgo adicional: dos registros pueden parecer sustancias distintas por una diferencia de escritura, o sustancias diferentes pueden fusionarse por compartir un nombre comercial genérico. La homologación debe considerar más de un atributo y mantener la evidencia utilizada para evitar ambos tipos de error.

Las brechas operativas descritas corresponden a hallazgos cualitativos identificados durante el trabajo. No se dispone de una cuantificación consolidada de duplicados, asociaciones incompletas u observaciones sin responsable, por lo que no se establecen frecuencias ni porcentajes para estas situaciones.

4.5 Brechas de trazabilidad y control de información

En este estudio, la trazabilidad se entiende como la capacidad de reconstruir el recorrido de un registro desde su fuente hasta su estado actual, incluidas revisiones, observaciones, documentos y ubicaciones asociadas.

Una observación sin seguimiento o un residuo sin punto de generación muestran que disponer del dato no equivale a controlar el proceso.

Las brechas más frecuentes se relacionan con registros sin estado, documentos sin control de versión, observaciones abiertas y asociaciones incompletas.

La solución requiere reglas de revisión, responsables de actualización y condiciones de cierre, estas decisiones no pueden delegarse por completo al sistema informático.

Como mínimo, cada registro debe indicar su estado documental y cada observación debe incluir categoría, fecha, responsable y cierre.

4.6 Análisis causal integrado

Las brechas se agrupan en cuatro fuentes causales. En datos, predominan archivos incompletos, nombres variables y asociaciones faltantes. En proceso, se observan criterios no formalizados y transiciones de estado poco definidas. En personas y gobernanza, existen dependencias de conocimiento individual y necesidad de validar con responsables operacionales. En tecnología, faltan o deben reforzarse controles que impidan aprobaciones incompletas y permitan seguir observaciones.

Estas causas se refuerzan entre sí. Una fuente incompleta exige una observación; si la observación no posee responsable, queda abierta, si el sistema permite aprobar el registro, la brecha deja de ser visible, y si el reporte no distingue estados, la organización puede interpretar la carga como información validada. La propuesta debe interrumpir esta cadena en más de un punto.

5. Aplicación de tecnologías de información y metodologías ágiles al proceso de gestión

5.1 Rol del sistema informático químico-logístico dentro del proceso

La plataforma debe centralizar información, vincular documentos y ubicaciones, y mostrar el estado de revisión de cada registro.

Un sistema digital no garantiza la calidad de los datos. Si la información de origen presenta duplicidades o HDS deficientes, el error se reproduce en la plataforma.

El aporte tecnológico aparece cuando existen reglas de validación, campos mínimos, control de versiones y seguimiento estructurado.

5.1.1 Modelo conceptual de información

El núcleo del modelo está formado por entidades diferenciadas: sustancia o producto, HDS, residuo, instalación, punto de almacenamiento, punto de generación, documento de respaldo, lista de vehículos y observación. Las relaciones entre ellas deben definirse explícitamente. Una HDS puede respaldar uno o más registros únicamente cuando su alcance técnico y documental lo permita. Por su parte, una sustancia puede encontrarse asociada a distintas instalaciones o puntos de almacenamiento, mientras que un residuo debe conservar su relación con el punto de generación, las condiciones de almacenamiento y los antecedentes de manejo posterior. Cuando corresponda, los registros asociados al transporte deberán vincularse con los vehículos, las empresas transportistas y las autorizaciones documentales pertinentes.

Cada entidad requiere un identificador estable, atributos mínimos y estados controlados. Los nombres visibles pueden cambiar, pero el identificador permite mantener las relaciones. Esta separación reduce la tendencia a almacenar toda la información en un solo registro y facilita actualizar un documento sin perder el historial del material asociado.

El modelo conceptual debe revisarse con quienes administran la plataforma antes de traducirse a una estructura técnica. La memoria define relaciones necesarias para el proceso, no un diseño definitivo de base de datos.

5.2 Requerimientos funcionales

Los requerimientos de la Tabla 7 constituyen un mínimo funcional para controlar calidad documental y trazabilidad. Es importante destacar que no describen la totalidad de la plataforma.

Tabla 7. Requerimientos en la plataforma en diversas áreas.

Requerimiento	Descripción	Aporte
Estado documental	Aprobado, observado, pendiente, rechazado o en actualización.	Permite seguimiento y priorización.
Campos obligatorios	Información mínima definida por tipo de registro, con justificación de no aplicación.	Reduce registros incompletos.
Catálogos controlados	Listas únicas para ubicaciones, estados, categorías y tipos de residuo.	Reduce duplicidades.
Asociaciones entre registros	Vínculos entre sustancias, HDS, residuos, instalaciones y puntos operativos.	Fortalece trazabilidad.
Observaciones estructuradas	Tipo, responsable, fecha, compromiso, estado y cierre.	Controla pendientes.
Reportes de seguimiento	Filtros e indicadores sobre conformidad, completitud y asociaciones faltantes.	Apoya decisiones y mejora continua.

Su validación debe realizarse con usuarios del proceso y considerando la disponibilidad real de datos.

5.3 Aplicación del enfoque Agile

En esta memoria se aplicaron principios ágiles mediante el trabajo colaborativo con el equipo de Zarey Consultores y la retroalimentación del cliente y los operadores de la plataforma digital. A través de reuniones de trabajo se identificaron necesidades relacionadas con la facilidad de uso, la visualización de información y las funciones requeridas por los usuarios. Estas necesidades se abordaron conjuntamente en la elaboración de historias de usuario y la priorización de mejoras.

El aporte del autor se centró en participar en la interacción con el cliente y los operadores, recoger sus necesidades y observaciones y comunicarlas al equipo de trabajo. Asimismo, desde su rol de usuario capacitado para cargar información, observó la evolución de la plataforma y las mejoras percibidas en la comodidad y agilidad de dicha actividad. Las historias de usuario y

la priorización presentadas en esta memoria corresponden a productos elaborados colaborativamente con el equipo.

La selección de este enfoque responde a que las mejoras propuestas presentan diferentes niveles de prioridad y dependencia. Por ejemplo, la elaboración de indicadores o la incorporación de automatizaciones requiere que previamente se encuentren definidos los campos mínimos, los estados de revisión y las reglas de calidad de los datos. En consecuencia, el desarrollo deberá avanzar desde los controles básicos hacia funciones de mayor complejidad.

Como ejemplos de la evolución funcional observada en plataforma digital, se identificaron mejoras en las cargas masivas de información y en la representación geográfica. En el primer caso, desde la experiencia de uso del autor, se percibieron una mayor facilidad de operación y agilidad para cargar información. Esta apreciación corresponde a una observación cualitativa del uso de la herramienta.

En el segundo caso, la georreferenciación evolucionó desde la representación mediante un punto hacia la delimitación de áreas mediante polígonos visibles para el usuario. Este cambio permitió visualizar el contorno y la extensión espacial del área representada. Ambos ejemplos ilustran mejoras orientadas a las necesidades de uso abordadas durante el trabajo colaborativo con el equipo, el cliente y los operadores.

5.3.1 Procedimiento de aplicación

Para dar continuidad al trabajo colaborativo realizado, se propone organizar las mejoras futuras mediante ciclos de diagnóstico, formulación, priorización, desarrollo y validación.

Tabla 8. Etapas de aplicación del enfoque Agile.

Etapa	Aplicación en la plataforma digital	Resultado
Diagnóstico	Identificación de brechas, registros incompletos, inconsistencias, duplicidades o dificultades de seguimiento.	Brecha documentada y respaldada mediante evidencia.
Formulación	Conversión de la brecha en una historia de usuario y definición del resultado esperado.	Requerimiento funcional delimitado.

Priorización	Evaluación del impacto, urgencia, factibilidad y dependencia de la mejora.	Incorporación del requerimiento a la lista priorizada de trabajo.
Desarrollo	Configuración, modificación o especificación funcional de la mejora seleccionada.	Solución disponible para su revisión.
Validación	Ejecución de pruebas y comparación del resultado con los criterios de aceptación.	Evidencia de cumplimiento o identificación de ajustes.

Cada ciclo deberá abordar un conjunto acotado de requerimientos. Al finalizar, los resultados serán revisados antes de incorporar nuevas mejoras y conversado con el equipo. Si los criterios de aceptación se cumplen, el requerimiento podrá cerrarse, en caso contrario, deberá ajustarse y volver a la lista de trabajo.

Cuando una modificación técnica no pueda ejecutarse dentro del alcance de la memoria, el resultado corresponderá a una especificación funcional. Esta deberá indicar la brecha de origen, el usuario afectado, la solución esperada, los datos necesarios y las condiciones que permitirán validar posteriormente su implementación.

La participación de los distintos actores dependerá de la naturaleza del requerimiento analizado. Zarey Consultores, en coordinación con el cliente, contribuirá a identificar y definir las necesidades operacionales y documentales. El equipo de tecnologías de información evaluará la factibilidad técnica de las modificaciones propuestas, mientras que los revisores documentales, encargados de sustancias, responsables de residuos y usuarios operacionales participarán en la revisión de los requerimientos y, cuando corresponda, en la validación de las funcionalidades implementadas.

5.3.2 Historias de usuario y criterios de aceptación

Las necesidades identificadas mediante el trabajo colaborativo con el equipo y la retroalimentación del cliente y los operadores se formularon mediante historias de usuario, utilizando la estructura: “Como [tipo de usuario], necesito [función], para [beneficio esperado]” (Cohn, 2004). Este formato permitió expresar los requerimientos desde la perspectiva de quienes utilizan o administran la información en la plataforma.

A cada historia se le asoció un criterio de aceptación observable, que establece las condiciones para verificar el cumplimiento del requerimiento. Las historias de usuario y sus respectivos criterios se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 9. Historias de usuario y criterios de aceptación.

Usuario	Historia de usuario	Criterio de aceptación
Revisor documental	Como revisor, necesito identificar el estado de una HDS para distinguir los documentos aprobados de aquellos que se encuentran pendientes u observados.	El registro permite visualizar un estado definido y las observaciones asociadas a la revisión.
Administrador	Como administrador, necesito establecer campos obligatorios para evitar que registros incompletos sean considerados válidos.	El registro no puede aprobarse cuando falta información crítica, salvo que exista una justificación documentada.
Encargado de sustancias	Como encargado de sustancias, necesito relacionar cada sustancia con su HDS y su instalación para mantener la trazabilidad documental y operacional.	El registro permite identificar la documentación y la instalación asociadas.
Encargado de residuos	Como encargado de residuos, necesito identificar la clasificación y el origen de cada residuo para facilitar su seguimiento.	El registro contiene la clasificación aplicable y su asociación operacional, cuando corresponda.
Personal de bodega	Como personal de bodega, necesito registrar y consultar los ingresos, salidas y cantidades de residuos almacenados para mantener un seguimiento ordenado de los movimientos realizados.	El sistema permite registrar los movimientos asociados a cada residuo y consultar las cantidades ingresadas y retiradas por día, semana o mes.

Los criterios de aceptación deberán ser específicos y comprobables. Por ejemplo, la expresión “mejorar el control de las HDS” no establece una condición suficiente para validar el resultado. En cambio, indicar que “cada HDS deberá mostrar su estado y observaciones asociadas” permite comprobar directamente el cumplimiento del requerimiento.

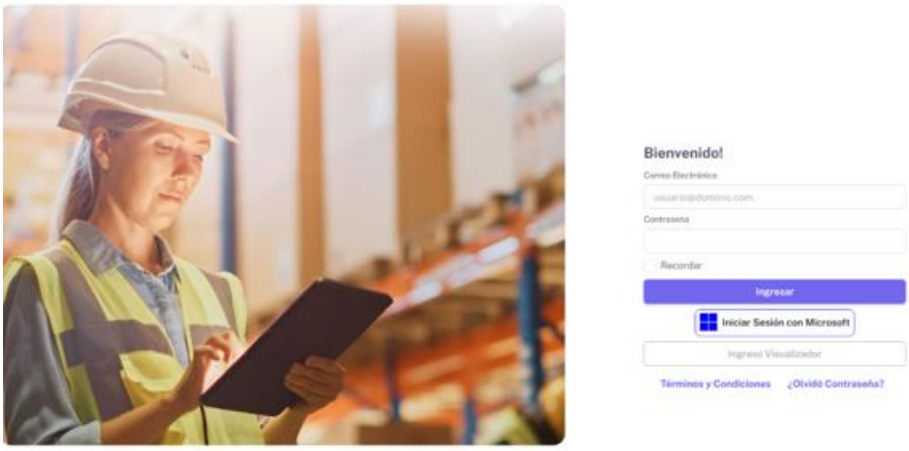


Figura 4. Portal de entrada a la plataforma.

5.3.3 Lista priorizada de trabajo

Las historias de usuario y la priorización de mejoras se elaboraron colaborativamente con el equipo, considerando las necesidades identificadas con el cliente y los operadores. A partir de este trabajo, se propone consolidar una lista priorizada que permita relacionar cada requerimiento con la brecha que lo origina, la solución esperada, su prioridad y la evidencia de implementación y validación, cuando corresponda.

Debido a que la empresa cliente pertenece al sector petrolero y cuenta con distintas unidades de negocio, las necesidades y adecuaciones funcionales pueden variar según el área involucrada. Para ordenar los requerimientos y mantener su trazabilidad, se incorporarán dos campos principales: “ID” y “Unidad de negocio” que constituyen la base para cada documento o lista que contiene la plataforma a modo de identificación.

- **ID:** Corresponde al identificador único asignado a cada requerimiento. Este permite diferenciar y realizar el seguimiento de las mejoras relacionadas con los distintos módulos o funciones de la plataforma, tales como sustancias, instalaciones, residuos y listas de vehículos, entre otros.
- **Unidad de negocio:** Permite clasificar y organizar los requerimientos según el área de la empresa a la cual pertenecen. Aunque la plataforma mantiene un funcionamiento estandarizado, cada conjunto de información debe asociarse con una unidad de negocio y con los roles de usuario correspondientes. Esta diferenciación evita que se mezclen registros, responsabilidades o necesidades pertenecientes a distintas unidades de la organización.

Para el seguimiento propuesto, un requerimiento se considerará especificado cuando estén documentados su necesidad, alcance, datos de entrada, reglas aplicables, resultado esperado y criterios de aceptación. Esta especificación permitirá evaluar su incorporación al desarrollo.

Una mejora se considerará implementada cuando la funcionalidad esté incorporada y disponible en la plataforma. Su validación requerirá comprobar el cumplimiento de los criterios de aceptación mediante casos representativos y la revisión del usuario responsable. El cierre de la mejora deberá respaldarse con la evidencia correspondiente.

5.4 Priorización de mejoras funcionales

La priorización de mejoras se elaboró conjuntamente con el equipo, considerando las necesidades recogidas en la interacción con el cliente y los operadores. La propuesta presentada en esta sección organiza las acciones atendiendo a su contribución a la trazabilidad y la calidad de los datos, el riesgo asociado a las brechas y la dependencia entre requerimientos.

Las primeras intervenciones deberán orientarse a establecer una base de información consistente. Posteriormente se fortalecerán las asociaciones operacionales y, una vez estabilizados los datos, podrán desarrollarse reportes, indicadores o automatizaciones.

Tabla 10. Priorizaciones de mejoras funcionales.

Prioridad	Mejoras propuestas	Justificación
Alta	Definición de campos obligatorios, estados documentales y criterios de revisión.	Establece las condiciones mínimas para considerar un registro completo y validado.
Alta	Revisión y depuración de registros incompletos, inconsistentes o duplicados.	Evita utilizar información incorrecta en procesos posteriores.
Alta	Control de la asociación entre sustancias y sus respectivas HDS.	Fortalece la trazabilidad y disponibilidad de la documentación aplicable.

Media	Asociación entre sustancias, residuos, instalaciones, almacenamiento y generación.	Permite representar con mayor precisión las relaciones operacionales.
Media	Estructuración y seguimiento de observaciones.	Facilita la asignación de responsables y el control de las correcciones.
Posterior	Incorporación de reportes, indicadores, alertas y automatizaciones.	Requiere datos estandarizados y reglas previamente validadas.

La incorporación de indicadores y automatizaciones en una etapa posterior no implica que estas funcionalidades tengan menor importancia. Su desarrollo dependerá de la disponibilidad de información confiable y de la consolidación previa de los criterios de revisión y validación. Asimismo, la presentación de los reportes deberá responder a las necesidades del cliente, considerando los formatos de consulta y seguimiento que mejor se adapten a sus actividades operacionales.

5.4.1 Secuencia de implementación

Para dar continuidad al trabajo realizado, se propone implementar progresivamente las acciones de mejora de acuerdo con la siguiente secuencia. El primer ciclo estará orientado a la definición de los campos mínimos, catálogos y estados de revisión. El segundo abordará la depuración y homologación de registros de sustancias, HDS y residuos. El tercero fortalecerá las asociaciones con instalaciones, puntos de almacenamiento, generación y otros antecedentes operacionales con su respaldo normativo adecuado. El cuarto se enfocará en la gestión de observaciones y responsabilidades. Finalmente, una vez estabilizada la información, podrán implementarse reportes, indicadores o alertas.

Al término de cada ciclo se revisarán los resultados obtenidos. Los requerimientos que cumplan sus criterios de aceptación serán documentados y cerrados. Aquellos que presenten desviaciones serán reformulados e incorporados a un ciclo posterior donde se hará un levantamiento de brechas próximas a mejora. Esta secuencia permitirá controlar las dependencias y evitar que las nuevas funciones se desarrollen sobre información incompleta o no validada.

5.5 Reglas de calidad de datos

La calidad de los datos constituye una condición necesaria para que la plataforma funcione como una herramienta de apoyo a la gestión documental y operacional. La digitalización de la información no garantiza por sí misma que los registros sean completos, vigentes o confiables.

Antes de validar un registro, se deberán considerar las siguientes reglas mínimas:

- Identificar cada sustancia mediante una denominación o nombre clave.
- Conservar los nombres comerciales o alternativos como referencia.
- Asociar la HDS aplicable y comprobar su legibilidad, fecha, versión y condición documental.
- Registrar la identificación y clasificación correspondiente a cada residuo.
- Relacionar sustancias y residuos con sus instalaciones, almacenamiento o generación, cuando corresponda.
- Verificar posibles duplicidades antes de crear un nuevo registro.
- Mantener disponible la fuente o documentación utilizada para respaldar la información.
- Estructurar las observaciones mediante tipo, fecha, responsable, estado y condición de cierre.

Inicialmente, estas reglas podrán aplicarse mediante revisiones manuales (International Organization for Standardization & International Electrotechnical Commission, 2008) (Ministerio de Salud, 2021) (Ministerio de Salud, 2004). A medida que se consoliden los criterios y la información disponible, podrán transformarse en advertencias o validaciones automáticas dentro de la plataforma. Actualmente, la plataforma digital dispone de formularios que permiten incorporar y administrar distintos tipos de registros, tales como sustancias químicas, instalaciones, residuos, puntos de generación y vehículos, entre otros. A modo de ejemplo, la Figura 5 presenta el formulario utilizado para ingresar una sustancia química, en el cual se identifican campos asociados al producto, su proveedor, las hojas de datos de seguridad y su clasificación de peligros.

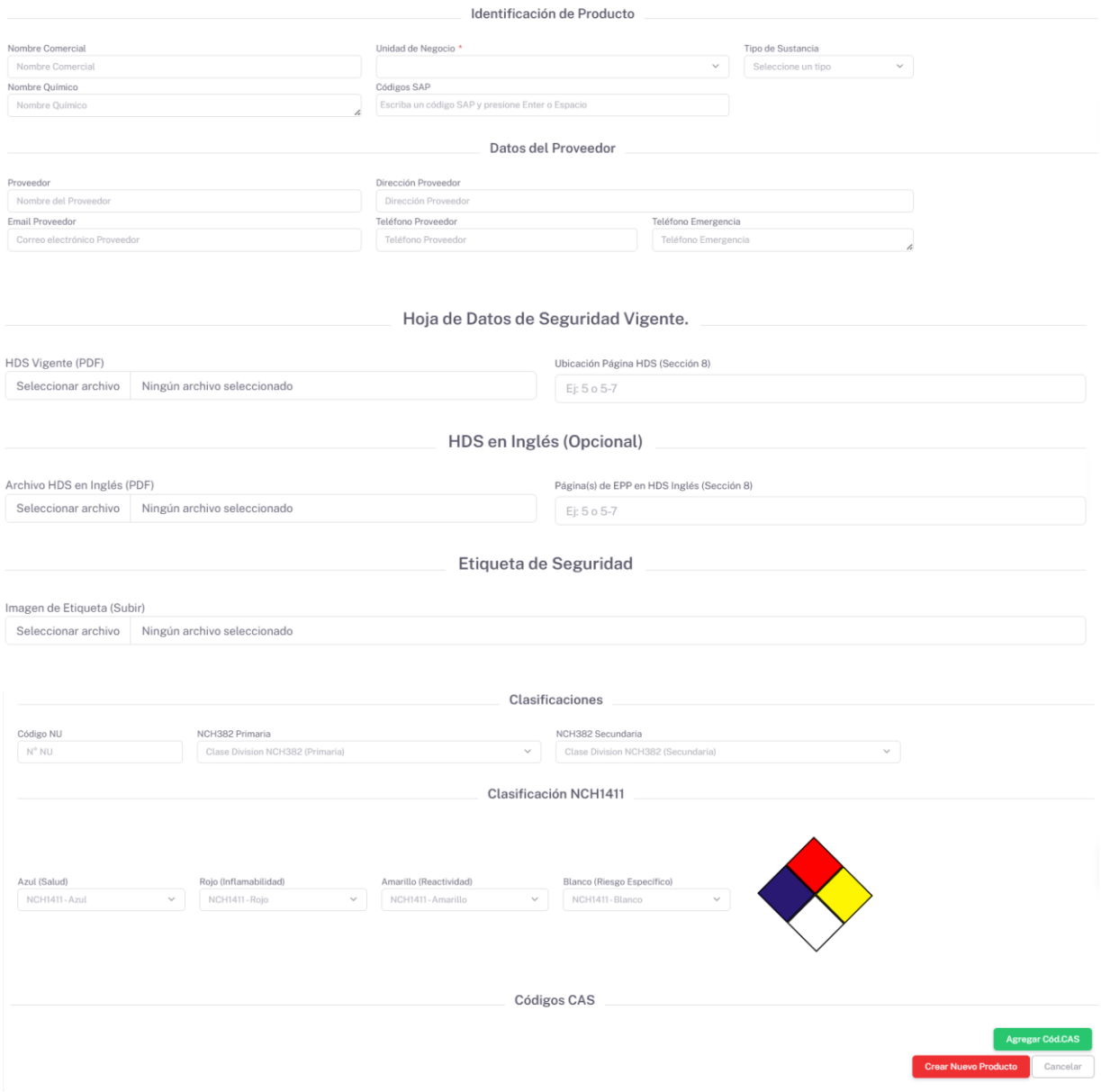


Figura 5. Formulario para añadir una sustancia en la plataforma

5.6 Flujo propuesto de control interno

El flujo de control tendrá como finalidad impedir que un registro incompleto, inconsistente o sin respaldo documental sea considerado validado. Su aplicación comprenderá la siguiente Figura 6.

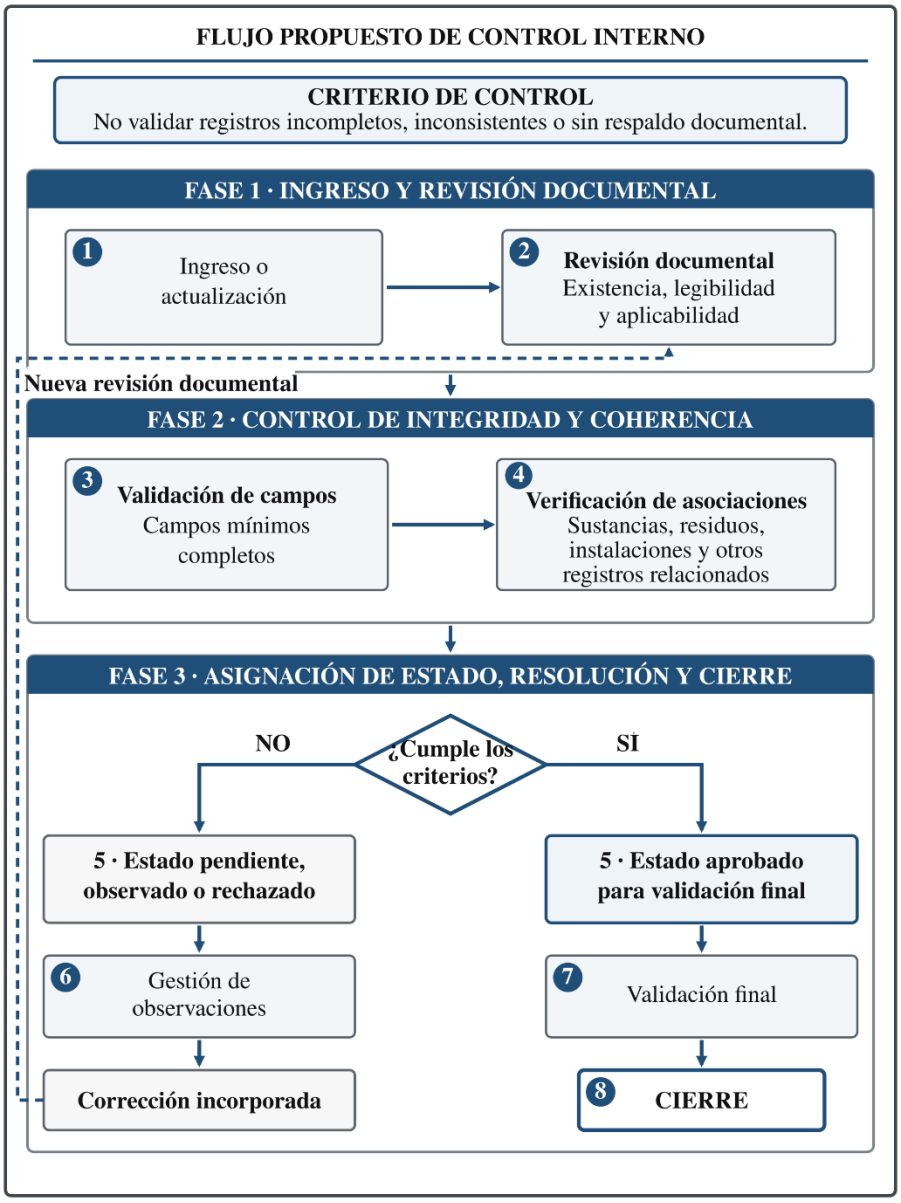


Figura 6. Flujo interno de revisión documentaria.

Durante la revisión documental se comprobará la existencia, legibilidad y aplicabilidad de los antecedentes disponibles. Posteriormente, se verificará que los campos mínimos estén completos y que las asociaciones con sustancias, residuos, instalaciones u otros registros sean coherentes.

Cuando la información cumpla los criterios establecidos, el registro podrá avanzar hacia un estado aprobado o validado. Si se detectan brechas, deberá permanecer pendiente, observado o rechazado hasta que se incorpore la corrección correspondiente y esta sea nuevamente revisada.

5.6.1 Puntos de control y evidencia

Los puntos de control verificarán la identidad y fuente del registro, la documentación asociada, los campos obligatorios, la consistencia de los datos y las asociaciones operacionales. Las brechas detectadas deberán registrarse y gestionarse antes de aprobar el registro. La validación final comprobará el cumplimiento de los criterios aplicables y la resolución de las observaciones. Si se detectan incumplimientos, el registro volverá a revisión; si resulta conforme, se asignará el estado aprobado y se conservará la evidencia de cierre, identificando al responsable, la fecha y la versión documental evaluada.

Cada punto deberá producir una decisión visible dentro del proceso. Cuando se identifique una brecha, la observación deberá indicar qué antecedente falta, por qué es necesario y qué acción deberá realizarse para resolverla.

Las evidencias de validación podrán consistir en capturas de pantalla, registros de prueba, listados de verificación o actas de revisión. Estas deberán vincularse con el criterio de aceptación correspondiente donde ya sea mediante reuniones de seguimiento o correo directo al responsable con la solicitud de información.

6. Análisis comparativo funcional de herramientas y servicios relacionados

6.1 Criterios de comparación funcional

Los criterios de comparación se definieron a partir de las brechas identificadas en el Capítulo 4. Se consideraron las siguientes dimensiones:

- Gestión y actualización de HDS.
- Administración del inventario de sustancias.
- Gestión y seguimiento de residuos.
- Asociación de registros con instalaciones y puntos operativos.
- Trazabilidad de observaciones y estados de revisión.
- Generación de reportes.
- Adaptación al contexto normativo chileno.

La comparación se concentró en las funciones que pudieron verificarse mediante las fuentes consultadas. Cuando una funcionalidad no se encontraba expresamente descrita, se clasificó como «no verificada». Esta condición no implica necesariamente que la herramienta carezca de dicha capacidad, sino que no fue posible confirmarla con la información disponible.

Este criterio permite comparar soluciones con propósitos diferentes sin asumir que todas responden de igual manera a necesidades regulatorias, documentales u operacionales.

6.2 Selección de soluciones y jerarquía de evidencia

Las soluciones se seleccionaron por representar tres enfoques relevantes: gestión especializada de sustancias y HDS, gestión EHS integrada y sistemas públicos de declaración de residuos. La plataforma del caso se incorpora para contrastar su propósito interno. La selección es intencional y exploratoria no corresponde a una muestra exhaustiva del mercado.

El autor participó en el equipo de trabajo de Zarey Consultores vinculado a la implementación y uso de la plataforma digital . Su aporte se centró en la interacción con el cliente y los operadores para recoger necesidades de uso, así como en la elaboración colaborativa de historias

de usuario y la priorización de mejoras. También utilizó la plataforma para la carga de información y observó su evolución funcional.

Por esta vinculación, el análisis de la plataforma digital se apoya en experiencia directa y antecedentes internos, mientras que la descripción de las soluciones externas se fundamenta en la información pública consultada.

Se privilegian páginas oficiales, documentación de producto y portales institucionales. Las afirmaciones comerciales se registran como alcance declarado y no como desempeño demostrado. Para la plataforma del caso, la evidencia proviene de funciones y registros observados internamente. La comparación se fundamentó en información pública disponible en los sitios oficiales de las soluciones analizadas y en antecedentes internos correspondientes a la plataforma del caso de estudio. Las fuentes utilizadas se identifican en las referencias bibliográficas, mientras que las funcionalidades de la plataforma digital se describen conforme a los antecedentes observados durante el desarrollo del trabajo. La comparación se limita a las capacidades cuya existencia pudo respaldarse mediante la información consultada.

La comparación utiliza una escala cualitativa de verificación y no una puntuación. Este diseño responde a la falta de acceso homogéneo a demostraciones, módulos, licencias y configuraciones. Asignar números bajo estas condiciones daría una apariencia de precisión sin una base común.

6.3 Herramientas y servicios considerados

Las herramientas y servicios incluidos en el análisis se organizaron de acuerdo con su finalidad principal. Esta clasificación permite distinguir entre las soluciones comerciales orientadas a la gestión química y ambiental, los sistemas públicos destinados al cumplimiento de obligaciones regulatorias y la plataforma interna correspondiente al caso de estudio.

En esta categoría se consideraron Chemwatch y Quentic, debido a que ambas plataformas incorporan funcionalidades relacionadas con la administración de sustancias químicas y hojas de datos de seguridad.

- Chemwatch corresponde a una solución especializada en gestión de información química. De acuerdo con la información pública consultada, la plataforma declara funcionalidades relacionadas con la centralización y administración de HDS, el

mantenimiento de registros químicos, la evaluación de riesgos, la gestión documental y la generación de reportes (Chemwatch, s.f.).

- Quentic presenta un alcance más amplio, asociado a la gestión integrada de medioambiente, salud y seguridad (EHS). Entre sus funciones declaradas se encuentran el registro de sustancias peligrosas, la administración de áreas de almacenamiento, la gestión de HDS y la incorporación de flujos de revisión y aprobación (Quentic, s.f.).

Aunque ambas soluciones sirven como referencia para la gestión de sustancias y documentos, sus capacidades efectivas dependen de los módulos contratados, la configuración implementada y el contexto operacional de cada organización.

Como referencia regulatoria nacional se consideró la Ventanilla Única del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), incluidos el Sistema de Declaración y Seguimiento de Residuos Peligrosos (SIDREP) y el Sistema Nacional de Declaración de Residuos (SINADER).

Estos sistemas están orientados al cumplimiento de obligaciones de declaración, seguimiento y reporte ambiental en Chile. Su finalidad es principalmente regulatoria, por lo que no sustituyen los procesos internos de recopilación, revisión y validación de HDS, inventarios de sustancias u observaciones operacionales (Ministerio del Medio Ambiente, s.f.). Su incorporación en el análisis permite diferenciar la gestión interna de información química y documental de los procesos formales de declaración exigidos por la autoridad.

Finalmente, se consideró el sistema informático químico-logístico correspondiente al caso de estudio. La plataforma busca integrar información relacionada con sustancias, HDS, residuos, instalaciones y puntos operativos dentro de un mismo entorno de gestión.

A diferencia de las soluciones comerciales y los sistemas públicos analizados, la descripción de sus funcionalidades se basa en registros y procesos observados internamente. Debido a las restricciones de confidencialidad, estas capacidades no pueden verificarse mediante fuentes públicas.

Por esta razón, la plataforma se incorpora como objeto central de análisis y no como una solución cuyas ventajas se encuentren previamente demostradas. Sus capacidades y posibles elementos de diferenciación deberán respaldarse mediante los resultados de la etapa de validación.

6.4 Matriz comparativa funcional

La Tabla 11 resume únicamente las funciones verificadas en las fuentes consultadas y explicita las limitaciones de cada comparación.

Tabla 11. Matriz comparativa entre plataformas similares.

Solución	Funciones verificadas en fuente pública	Aporte al problema estudiado	Limitación de la comparación
Chemwatch	HDS, registro químico, evaluación de riesgos, documentación y reportes.	Referencia para control y actualización documental.	Adaptación a residuos y normativa chilena no verificada en esta revisión.
Quentic	Registro de sustancias, áreas de almacenamiento, aprobaciones y gestión de HDS dentro de EHS.	Referencia para flujos y asociaciones con ubicaciones.	La cobertura depende de módulos y configuración.
RETC / SIDREP / SINADER	Declaración oficial de emisiones y residuos en Chile.	Referencia regulatoria para reporte y seguimiento de residuos.	No reemplaza la gestión interna de HDS e inventarios.
Plataforma del caso	Sustancias, HDS, residuos, instalaciones y puntos operativos, según evidencia interna.	Integración documental y operacional del caso.	Capacidades no verificables públicamente por confidencialidad.

Fuente: elaboración propia a partir de Chemwatch, Quentic y Ministerio del Medio Ambiente, consultados el 20 de julio de 2026. Para la plataforma del caso se utilizó evidencia interna.

La comparación muestra que Chemwatch y Quentic ofrecen referencias sólidas para gestión química y documental, mientras que RETC cumple una función declarativa oficial. La plataforma del caso se diferencia por la integración operacional que pretende ofrecer, pero esa ventaja debe demostrarse con resultados y no asumirse a partir de su diseño.

Por tanto, el análisis comparativo orienta oportunidades de mejora, pero no permite concluir superioridad comercial ni técnica.

6.5 Análisis comparativo por solución

Chemwatch es una referencia directa para centralización de HDS, inventarios químicos, evaluación de riesgos y actualización documental. La revisión pública no permitió confirmar el

mismo nivel de integración con residuos, puntos de generación y normativa chilena específica, estas funciones requerirían, una demostración o revisión contractual.

Quentic presenta un alcance EHS más amplio y relaciona sustancias con aplicaciones y áreas de almacenamiento, además de ofrecer flujos de aprobación y gestión de HDS. Su cobertura concreta depende de los módulos contratados y tampoco constituye, por sí sola, evidencia de adaptación al marco regulatorio chileno.

RETC, SIDREP y SINADER son referencias obligatorias para el reporte ambiental y de residuos en Chile, pero no reemplazan la gestión interna previa de inventarios, HDS y observaciones.

La oportunidad del sistema informático analizado consiste en conectar ese trabajo interno con documentos y ubicaciones. Para sostener esta diferenciación se requieren indicadores de uso, calidad y cierre de brechas.

Por ello, las soluciones comerciales muestran que la gestión documental de HDS, los flujos de aprobación y la relación con ubicaciones son funciones maduras y esperables en este tipo de herramientas. Los sistemas públicos chilenos, por su parte, muestran que la declaración regulatoria posee estructuras, responsabilidades y finalidades propias. El caso analizado debe conectar ambos mundos sin presentar la gestión interna como reemplazo de la declaración oficial.

La oportunidad de diferenciación no consiste únicamente en reunir más módulos. Se encuentra en representar de manera comprensible la relación entre sustancias, residuos, instalaciones y documentos dentro del contexto operacional chileno. Esa integración solo constituye una ventaja si reduce tiempos, mejora cobertura y permite cerrar brechas; por ello, debe medirse mediante el piloto propuesto.

6.6 Oportunidades de mejora identificadas a partir del análisis comparativo

A partir de la comparación se identificaron cinco oportunidades:

- Incorporar controles estructurados de versión, conformidad y estado de las HDS.
- Fortalecer reportes sobre registros incompletos, documentos observados y asociaciones faltantes.
- Gestionar observaciones como tareas con responsable, fecha y cierre verificable.

- Mantener la integración entre sustancias, documentos, residuos y ubicaciones como criterio central de diseño.
- Priorizar automáticamente los registros con brechas críticas, sin reemplazar el juicio técnico.

A partir de la comparación se plantean cuatro criterios de diferenciación para la plataforma del caso: integración entre sustancias y residuos; vínculo con instalaciones y puntos operativos; adaptación de campos y controles al contexto normativo chileno; y acompañamiento técnico durante la homologación. Estos criterios corresponden a hipótesis de valor y no a resultados demostrados.

La validación deberá comprobar si los usuarios pueden resolver consultas con menos fuentes, si aumenta la proporción de registros correctamente asociados, si disminuyen las observaciones sin responsable y si los reportes facilitan la priorización. Sin esta evidencia, la diferenciación debe mantenerse como propuesta de posicionamiento funcional.

6.7 Limitaciones del análisis comparativo

El análisis se limita a la información pública disponible y no incluye pruebas funcionales, contratos, costos ni indicadores reales de desempeño de las soluciones comparadas. Estas herramientas no son directamente equivalentes, dado que dos corresponden a plataformas comerciales, una a sistemas públicos de declaración y otra a la plataforma utilizada en el caso de estudio. Por consiguiente, la comparación posee un carácter funcional y referencial.

Asimismo, no se evaluaron aspectos relacionados con la experiencia de usuario, el soporte técnico, los tiempos de implementación, la integración corporativa, la ciberseguridad ni el costo total de propiedad. Si bien plataforma digital constituye una plataforma operativa, sus capacidades se describen a partir de antecedentes internos, sin que ello represente una verificación independiente de su desempeño.

De manera complementaria, Zarey Consultores desarrolló un ejercicio de *Design Thinking* orientado a comprender las necesidades de los usuarios, identificar problemáticas presentes en la gestión químico-logística y explorar oportunidades de mejora desde una perspectiva operacional. Esta herramienta permitió complementar el análisis mediante una aproximación centrada en las personas y en las condiciones reales del proceso. Su desarrollo se presenta en el

Anexo 1, como antecedente de apoyo para la identificación y formulación de propuestas de mejora, sin constituir una validación experimental de sus resultados.7. Propuesta de mejora operativa para la gestión de sustancias químicas y residuos

7.1 Objetivo de la propuesta de mejora

El objetivo es establecer acciones técnicas, documentales y funcionales que optimicen la gestión de sustancias y residuos mediante registros confiables, asociaciones completas y seguimiento verificable.

- Mejorar la calidad documental de las Hojas de Datos de Seguridad utilizadas como fuente de información técnica.
- Estandarizar criterios de revisión, homologación y carga de registros.
- Fortalecer la trazabilidad entre sustancias químicas, residuos, instalaciones, puntos de almacenamiento y puntos de generación.
- Incorporar reglas de control y validación dentro del sistema informático químico-logístico.
- Definir indicadores que permitan medir avance, calidad documental y cierre de observaciones.
- Reducir reprocesos asociados a información incompleta, duplicada o no homologada.

7.2 Mejora del control documental de HDS

El control de las HDS es prioritario porque estos documentos sustentan la identificación de peligros, el almacenamiento, la exposición, el transporte y la eliminación. Se propone aplicar una matriz común antes de aprobar o utilizar una HDS como fuente de datos en la plataforma. La matriz diferencia criterios críticos y no críticos, y exige evaluar únicamente los campos aplicables al producto y al uso previsto. (Ministerio de Salud, 2021)

Tabla 12. Matriz de validación en HDS.

Criterio	Condición mínima de aceptación	Acción si no cumple
Identificación	Producto, proveedor o importador y uso inequívocos.	Observar o rechazar si no corresponde al producto.
Estructura y versión	Dieciséis secciones, fecha o versión y documento legible.	Solicitar actualización; rechazar si es ilegible.

Peligros	Clasificación y elementos de la etiqueta coherentes.	Observación crítica y revisión técnica.
Composición	Componentes e intervalos declarados cuando corresponda.	Solicitar antecedentes o justificar reserva aplicable.
Respuesta y control	Primeros auxilios, incendio, derrames, almacenamiento y EPP utilizables.	Observar hasta completar medidas críticas.
Información técnica	Propiedades, estabilidad, toxicología y ecología suficientes o justificadas.	Registrar brecha y evaluar impacto.
Eliminación	Orientaciones de manejo del producto y envase sin afirmar una clasificación no respaldada.	Corregir o solicitar complemento.
Transporte	Número ONU, clase y grupo coherentes, o declaración fundada de no aplicación.	Revisar contradicciones con peligros y propiedades.
Regulación y cambios	Normativa pertinente, fecha de revisión y cambios identificables.	Actualizar control documental.
Coherencia global	Sin contradicciones relevantes entre secciones.	Rechazar o mantener pendiente hasta aclaración.

Para el procedimiento propuesto, se considera crítica una deficiencia que impide confirmar la identidad del producto o evaluar de manera coherente sus peligros y las medidas de control correspondientes. Su identificación deberá respaldarse indicando la sección afectada, la información faltante o contradictoria y el fundamento de la observación.

El estado aprobado se asignará cuando se haya comprobado el cumplimiento de los criterios aplicables de la matriz. El estado observado corresponderá a documentos que requieren correcciones identificadas; pendiente, a aquellos cuya evaluación necesita antecedentes adicionales; y rechazado, a documentos que no corresponden al producto o cuya ilegibilidad impide evaluarlos y exige su sustitución. Mientras existan correcciones o antecedentes necesarios para completar la evaluación, el documento no se considerará validado.

La matriz apoya el juicio técnico, pero no lo sustituye. Cada decisión debe conservar responsable, fecha, fundamento y versión revisada.

7.2.1 Procedimiento propuesto para revisar una HDS

- Paso 1: verificar identidad y aplicabilidad. Se compara el identificador del producto, proveedor, uso, formulación disponible y mercado de destino con el registro. Si no existe

correspondencia suficiente, el documento se rechaza para ese registro, aunque pueda ser válido para otro producto.

- Paso 2: revisar integridad documental. Se comprueba legibilidad, presencia de dieciséis secciones, identificación de versión y ausencia de páginas faltantes. Los espacios sin información deben estar explicados conforme al requisito aplicable y no simplemente permanecer vacíos.
- Paso 3: revisar contenido crítico. Se evalúan identificación, clasificación y etiqueta, composición, controles de exposición, almacenamiento, transporte, eliminación y regulación. La profundidad depende del peligro y del uso, pero los criterios críticos deben estar definidos antes de la revisión.
- Paso 4: efectuar control de coherencia. Se comparan peligros con propiedades, controles y transporte, composición con clasificación, almacenamiento con estabilidad y reactividad, y eliminación con el alcance del producto. Una contradicción crítica impide aprobar hasta contar con aclaración competente.
- Paso 5: asignar estado y registrar evidencia. El revisor selecciona el estado, describe las brechas, identifica la sección afectada y adjunta o vincula la versión revisada. La decisión queda fechada y asociada a un responsable.
- Paso 6: gestionar actualización y cierre. Cuando una HDS requiera correcciones o antecedentes adicionales, el responsable correspondiente deberá solicitar una versión actualizada y verificar que las observaciones hayan sido subsanadas. Una vez completada la revisión técnica y documental, se registrará la decisión adoptada, junto con la fecha, la versión del documento y la evidencia que respalde el cierre. Si la HDS cumple los criterios establecidos, podrá asignarse el estado aprobado en la plataforma.

7.3 Fortalecimiento de la trazabilidad operacional

La trazabilidad operacional consiste en relacionar cada material con sus documentos, ubicación, estado y observaciones. Para sustancias químicas, se propone que cada registro se encuentre vinculado con su HDS vigente, clasificación de peligros, instalación, punto de almacenamiento y documentación relacionada cuando corresponda. Esta asociación permitiría conocer no solo qué sustancia existe en el sistema, sino también dónde se encuentra, qué documento la respalda

y cuál es su estado documental. Además, la plataforma permite geolocalizaciones de las instalaciones dentro del recinto operacional.

Para residuos, se propone establecer como criterio mínimo la vinculación entre residuo, punto de generación, punto de almacenamiento y destino o antecedente de disposición cuando dicha información se encuentre disponible. Esta estructura permitiría representar el ciclo de gestión del residuo desde su origen hasta su manejo posterior.

En el caso de los puntos de almacenamiento, se recomienda asociar documentación de respaldo, especialmente cuando exista relación con el D.S. N° 43/2015. Esto permitiría conectar la información técnica de sustancias con el contexto físico y normativo de almacenamiento.

El sistema debe responder con rapidez qué sustancias están asociadas a una instalación, qué HDS están observadas, qué residuos carecen de origen y qué registros requieren actualización.

7.4 Indicadores de gestión y seguimiento documental

Para apoyar el seguimiento de la propuesta de mejora, se definen indicadores de control documental de las Hojas de Datos de Seguridad del Caso 1. Estos permiten establecer una línea base, dimensionar las necesidades de regularización y evaluar posteriormente el cierre de las brechas identificadas.

La línea base corresponde a los registros de septiembre de 2026, con un universo de 1.041 HDS asociadas exclusivamente al Caso 1. De ellas, 729 figuraban en estado “Cumple”, equivalentes al 70,0 %, y 312 en estado “No cumple”, correspondientes al 30,0 %. Estos resultados describen el estado documental registrado en la plataforma al corte analizado.

Tabla 13. Indicadores de control y seguimiento documental de HDS del Caso 1.

Indicador	Fórmula	Resultado inicial
Conformidad documental	HDS en “Cumple” / total de HDS del Caso 1 × 100	729/1.041 × 100 = **70,0 %**
Necesidad de regularización	HDS en “No cumple” / total de HDS del Caso 1 × 100	312/1.041 × 100 = **30,0 %**

Incidencia por motivo de no conformidad	HDS con el motivo / HDS en "No cumple" × 100	Deficiencias de clasificación: **61,9 %**. Ausencia de antecedentes del proveedor en Chile: **23,7 %**
Regularización del conjunto inicial	HDS del conjunto inicial corregidas y aprobadas / 312 × 100	Pendiente de medición posterior

Como complemento, se considera la incidencia de los motivos de no conformidad. Entre las 312 HDS en estado "No cumple", 193 presentaban las deficiencias de clasificación descritas en la sección 4.3.1, equivalentes al 61,9 %, mientras que 74 registraban ausencia de antecedentes del proveedor en Chile, correspondientes al 23,7 %. Esta desagregación permite orientar las acciones correctivas hacia los motivos de mayor frecuencia. Cuando una HDS presente varios motivos, deberá identificarse esa condición para evitar duplicar documentos al calcular resultados agregados.

Para evaluar el avance posterior, se propone medir la regularización del conjunto inicial observado, mediante la proporción de las 312 HDS que sean corregidas y aprobadas con evidencia de revisión. Las nuevas HDS incorporadas deberán distinguirse de este conjunto para conservar la comparabilidad del indicador.

Se propone una actualización mensual, con información registrada por los revisores y consolidada por la coordinación del proceso. Cada medición deberá conservar la fecha de corte, el universo considerado, los identificadores de los documentos y la evidencia de los cambios de estado. Las metas y los plazos de regularización deberán acordarse con los responsables del proceso a partir de la línea base y de la disponibilidad de antecedentes.

Estos indicadores permiten evaluar la calidad y la regularización documental. La medición de efectos sobre tiempos de trabajo, costos o reprocesos requerirá registros adicionales.

7.5 Limitaciones de la propuesta

La implementación depende de la calidad y disponibilidad de los antecedentes entregados por la organización, sus proveedores y las áreas operativas. La propuesta no reemplaza auditorías

regulatorias, asesoría legal, ensayos de laboratorio, rediseños físicos ni certificaciones de la autoridad. La confidencialidad limita la exposición de detalles comerciales y la validación externa de la plataforma. Los indicadores solo serán útiles cuando existan universos de datos definidos, fechas de corte y reglas de cálculo estables.

7.5.1 Riesgos de implementación y medidas de control

- El primer riesgo es la dependencia de antecedentes de terceros. Se controla diferenciando pendientes por proveedor y evitando completar datos por inferencia.
- El segundo es la resistencia o baja disponibilidad de usuarios operacionales; se mitiga mediante validaciones acotadas, responsables definidos y materiales de apoyo breves.
- El tercer riesgo es configurar demasiados campos obligatorios, lo que puede incentivar información ficticia o trabajo fuera del sistema. La medida de control es aplicar obligatoriedad condicional y probar formularios con usuarios.
- El cuarto riesgo es automatizar decisiones técnicas; se controla mediante alertas, revisión humana y registro del fundamento.
- El quinto riesgo es medir con una base inestable. Antes de publicar indicadores deben fijarse fecha, universo, regla de cálculo y tratamiento de duplicados.
- El sexto corresponde a permisos, respaldo e integración tecnológica, aspectos que requieren coordinación con especialistas y validación corporativa.

7.5.2 Factibilidad preliminar

La propuesta es técnicamente factible en la medida en que la plataforma permita estados, campos, relaciones y reportes configurables. Su factibilidad operacional depende del tiempo de revisión, de la disponibilidad de responsables y de la calidad de las fuentes. La factibilidad económica no puede concluirse sin horas de trabajo, costos de configuración, licencias y beneficios medidos. No se realizó una evaluación económica cuantitativa, por lo que no se establecen conclusiones sobre ahorros, rentabilidad o retorno de inversión.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis del proceso de gestión de sustancias químicas y residuos del Caso 1 permitió identificar brechas documentales y operacionales y formular mejoras apoyadas en tecnologías de información. El levantamiento y la organización de antecedentes permitieron caracterizar las etapas de recepción, revisión, homologación, carga y seguimiento, junto con sus documentos, actores y puntos de control. Estos resultados orientaron la propuesta hacia el control documental, la calidad de los registros y la trazabilidad.

La consulta de los registros de septiembre de 2026 permitió establecer una línea base de 1.041 HDS asociadas exclusivamente al Caso 1, de las cuales 729 figuraban en estado “Cumple” (70,0 %) y 312 en “No cumple” (30,0 %). Entre estas últimas, se cuantificaron dos motivos: 193 HDS presentaban las deficiencias de clasificación descritas en el diagnóstico, equivalentes al 61,9 %, y 74 carecían de antecedentes del proveedor en Chile, correspondientes al 23,7 %. Estos resultados dimensionan las necesidades de regularización y permiten orientar las correcciones según los motivos identificados. Su interpretación corresponde al estado documental registrado al corte analizado.

Desde la Ingeniería Civil Química, el riesgo químico comprende la posibilidad de daños a las personas, las instalaciones y el ambiente, según la peligrosidad de las sustancias y sus condiciones de exposición y manejo. La revisión de la identidad, composición y clasificación de los productos proporciona antecedentes para reconocer esos peligros y definir medidas preventivas acordes con la operación.

La propuesta puede contribuir a minimizar este riesgo al facilitar información técnica validada, accesible y vinculada con materiales y ubicaciones. Esta base apoya la segregación de sustancias incompatibles, la prevención de exposiciones y la preparación ante derrames e incendios. La selección de controles debe priorizar la eliminación o sustitución cuando sea viable, seguida de medidas de ingeniería y organización del trabajo, complementadas con protección personal según corresponda. La reducción efectiva del riesgo requiere aplicar y verificar estos controles en terreno. Los indicadores propuestos permiten seguir la calidad y regularización documental; la evaluación de su efecto preventivo requiere evidencia operacional adicional.

La trazabilidad requiere relaciones verificables entre sustancias, HDS, residuos, instalaciones, puntos de almacenamiento, puntos de generación y documentos de respaldo. Los duplicados,

las nomenclaturas inconsistentes, los campos incompletos y las observaciones sin cierre debilitan esas relaciones. La propuesta aborda estas brechas mediante una matriz de revisión de HDS, estados documentales, campos obligatorios, catálogos homologados, asociaciones entre registros y mecanismos de seguimiento que conserven responsables y evidencia.

La aplicación de principios ágiles se concretó en el trabajo colaborativo con el equipo, el levantamiento de necesidades, la formulación de historias de usuario y la priorización de mejoras. El aporte personal del autor comprendió su participación en estas actividades y la incorporación de observaciones derivadas de su experiencia en la carga de información. Durante esa participación se observaron mejoras en las cargas masivas y en la representación geográfica mediante polígonos; su efecto sobre los tiempos de trabajo requiere mediciones comparativas.

La comparación funcional exploratoria aportó referencias para orientar los requerimientos y reconocer oportunidades de mejora. Sus resultados deben interpretarse considerando las diferencias de propósito entre las soluciones y las fuentes disponibles: información pública para las herramientas externas y experiencia directa y registros internos para la plataforma del caso.

Los indicadores definidos permiten relacionar el diagnóstico con el seguimiento propuesto. La conformidad documental y su proporción complementaria de HDS que requieren regularización establecen la situación inicial; la incidencia por motivo apoya la priorización de correcciones. Para evaluar el avance posterior, se propone medir qué proporción del conjunto inicial de 312 HDS ha sido corregida y aprobada con evidencia. Este seguimiento deberá distinguir las nuevas incorporaciones y controlar la duplicación de documentos al agregar motivos.

La propuesta responde al objetivo general al articular revisión técnica, control documental, trazabilidad y soporte tecnológico. Como continuidad, se recomienda validar la matriz mediante casos documentados y más de un revisor, formalizar responsables, acordar metas y plazos, y mantener cortes periódicos con reglas homogéneas de cálculo. La cuantificación de efectos sobre tiempos, costos, reprocesos y gestión del riesgo, así como la evaluación económica de la implementación, requiere antecedentes adicionales.

Referencias

Beck et al. (2001). *Manifiesto por el desarrollo ágil de software*. Obtenido de https://agilemanifesto.org/iso/es/manifesto.html

Chemwatch. (s.f.). *Chemical safety and SDS management systems*. Obtenido de https://chemwatch.net/products/

Cohn, M. (2004). *User stories applied: For ágile software development.* Addison-Wesley.

DFL N. 725. (1967). *Código Sanitario*. Obtenido de https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=5595

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* McGraw-Hill Education.

Instituto Nacional de Normalizacion. (2000). *NCh 1411/4.Of2000: Prevención de riesgos - Parte 4: Identificación de riesgos de materiales.* Instituto Nacional de Normalizacion.

Instituto Nacional de Normalizacion. (2019). *NCh 2190:2019: Transporte terrestre de mercancias peligrosas - Distintivos para la identificación de peligros.* Instituto Nacional de Normalizacion.

Instituto Nacional de Normalizacion. (2021). *NCh 382:2021: Mercancias peligrosas - Clasificación.* Instituto Nacional de Normalizacion.

International Organization for Standardization & International Electrotechnical Commission. (2008). *Software engineering - Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Data quality model.* ISO/IEC. Obtenido de https://www.iso.org/standard/35736.html

International Organization for Standardization. (2016). *Information and documentation - Records management - Part 1: Concepts and principles.* International Organization for Standardization. Obtenido de https://www.iso.org/standard/62542.html

International Organization for Standardization, International Electrotechnical Commission, & Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2018). *Systems and software engineering - Life cycle processes - Requirements engineering.* ISO/IEC/IEEE. Obtenido de https://www.iso.org/standard/72089.html

Ley N. 20.000. (2005). *Sustituye la Ley N. 19.366, que sanciona el tráfico ilícito de estupefacientes y sustancias sicotrópicas*. Obtenido de https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=235507

Ley N. 20.417. (2010). *Crea el Ministerio, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente*. Obtenido de https://www.bcn.cl/leychile/Navegar?idNorma=1010459

Ministerio de Salud. (2000). *Decreto Supremo N. 594 de 1999: Aprueba Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo*. Obtenido de https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=167766

Ministerio de Salud. (2004). *Decreto Supremo N. 148 de 2003: Aprueba Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos*. Obtenido de https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=226458

Ministerio de Salud. (2016). *Decreto Supremo N. 43 de 2015: Aprueba Reglamento de almacenamiento de sustancias peligrosas*. Obtenido de https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1088802

Ministerio de Salud. (2021). *Decreto Supremo N. 57 de 2019: Aprueba Reglamento de clasificación, etiquetado y notificación de sustancias químicas y mezclas peligrosas*. Obtenido de https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1155752

Ministerio de Salud. (s.f.). *Portal GHS-Chile*. Obtenido de https://ghs-chile.minsal.cl/

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciónes. (1995). *Decreto Supremo N. 298 de 1994: Reglamenta transporte de cargas peligrosas por calles y caminos*. Obtenido de https://www.bcn.cl/leychile/Navegar?idNorma=12087

Ministerio del Interior. (2007). *Decreto Supremo N. 1.358 de 2006: Establece normas que regulan las medidas de control de precursores y sustancias químicas esenciales dispuestas por la Ley N. 20.000*. Obtenido de https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=260089

Ministerio del Medio Ambiente. (s.f.). *Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes*. Obtenido de https://retc.mma.gob.cl/

Moreau, L., & Missier, P. (2013). *PROV-DM: The PROV data model*. Obtenido de https://www.w3.org/TR/prov-dm/

Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration, Transport Canada, Secretaría de Infraestructura, Comunicaciónes y Transportes, & Centro de Información Quimica para Emergencias. (2024). *Guía de respuesta en caso de emergencia 2024.* U.S. Department of Transportation. Obtenido de https://www.phmsa.dot.gov/sites/phmsa.dot.gov/files/2024-04/GRE2024-Spa-Web-a.pdf

Pipino et al. (2002). Data quality assessment. *Communications of the ACM, 45*(4), 211-218. Obtenido de https://doi.org/10.1145/505248.506010

Quentic. (s.f.). *Chemical management software*. Obtenido de https://www.quentic.com/software/chemical-management/

Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). *La Guía Scrum: La guía definitiva de Scrum. Las reglas del juego*. Obtenido de https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-Spanish-European.pdf

Superintendencia de Seguridad Social. (2025). *Informe anual de seguridad y salud en el trabajo 2024.* Obtenido de https://www.suseso.gob.cl/607/articles-755198_archivo_01.pdf

United Nations. (2025). *Recommendations on the transport of dangerous goods: Model Regulations (24th revised ed., Vol. I).* United Nations Economic Commission for Europe. Obtenido de https://unece.org/transport/dangerous-goods/un-model-regulations-rev-24

United Nations. (2025a). *Globally harmonized system of classification and labelling of chemicals (GHS Rev. 11).* United Nations Economic Commission for Europe. Obtenido de https://unece.org/transport/dangerous-goods/ghs-rev11-2025

United Nations Environment Programme. (2023). *Global framework on chemicals - For a planet free of harm from chemicals and waste.* United Nations Environment Programme. Obtenido de https://www.unep.org/resources/global-framework-chemicals-planet-free-harm-chemicals-and-waste

Wang, R., & Strong, D. (1996). Beyond accuracy: What data quality means to data consumers. *Journal of Management Information Systems, 12*(4), 5-33. Obtenido de https://doi.org/10.1080/07421222.1996.11518099

Yin, R. (2018). *Case study research and applications: Design and methods (6th ed.).* SAGE Publications.

Anexo 1

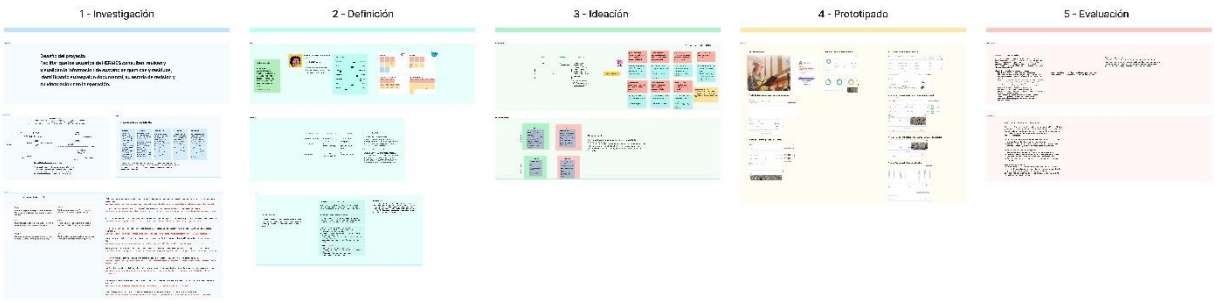


Figura 7. Design Thinking de la plataforma digital.